

جامعة أبو بكر بلقايد -  
تلمسان



Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche de Génie Biomédical

**MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES**

Pour l'obtention du Diplôme de

**MASTER en GENIE BIOMEDICAL**

*Spécialité : Instrumentation Biomédicale*

Présenté par : BOUCHIKHI Nihed Kheira et NADJEM Wail Dahmene

---

**Réalisation d'un Neurostimulateur pour Lutter  
contre l'Addiction**

---

Soutenu le 24/09/2023 devant le Jury

Mme	BAAKAK YETTOU Nour Elhouda	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mr	Hamza Cherif Lotfi	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant
Mr	Kromba Ibrahim	Docteur	Université de Tlemcen	Co-encadrant
Mme	MEKKIOUI Nawel	MAA	Université de Tlemcen	Examineur

Année universitaire 2022-2023

# Table des matières

Liste des abréviations :.....	6
Résumé .....	7
<i>Remerciements</i> .....	8
<i>Dédicaces</i> .....	9
Introduction générale : .....	11
<b>CHAPITRE 01 :</b> .....	15
L'état des lieux de l'addiction .....	15
<b>Introduction :</b> .....	16
<b>1. L'addiction et le principe médicale</b> .....	16
<b>2. Symptômes et différents traitements :</b> .....	17
<b>3. Les formes d'addiction</b> .....	18
<b>4. Les facteurs d'addiction</b> .....	20
<b>4.1. Les substances</b> .....	21
<b>4.2. L'individu</b> .....	22
<b>4.2.1 L'âge de la première consommation :</b> .....	22
<b>4.2.2. Les facteurs génétiques :</b> .....	23
<b>4.2.3. Les troubles mentaux et traits de personnalité :</b> .....	23
<b>4.3. L'environnement</b> .....	24
<b>5. La contribution d'EEG dans le diagnostic d'addiction</b> .....	25
<b>5.1. Relation entre cerveau et addiction</b> .....	25
<b>5.1.1. Le cerveau</b> .....	25
<b>5.1.2. L'effet de l'addiction sur le cerveau :</b> .....	27
<b>6. La contribution de la neurostimulation dans le traitement de l'addiction :</b> .....	31
Conclusion : .....	32
<b>CHAPITRE 02 :</b> .....	35
Design et prototype .....	35
<b>Introduction :</b> .....	36
<b>1. Les différentes parties du circuit réalisé</b> .....	37
<b>1.1. AD8232 ECG Heart Monitor Module:</b> .....	38
<b>1.2. La plaque d'essai :</b> .....	39
<b>1.3. Les composants passifs :</b> .....	40
<b>2. Moniteur EEG :</b> .....	41

2.1. Le circuit :	41
3. Neurostimulateur (TDCS) :	47
3.1. Réalisation de circuit :	47
3.2. L'emplacement d'électrodes :	48
3.3. Le danger :	48
<b>CHAPITRE 03 :</b>	51
Discussion des résultats et perspectives	51
<b>Introduction :</b>	52
1. Analyse des résultats :	52
2. Interprétation des résultats :	57
3. Résultats supplémentaires :	63
4. Futures perspectives :	66
<b>Conclusion</b>	68
<b>Références :</b>	71

## Table de figures et liste de tableaux

### Chapitre 01 :

Figure1. 1.Méthode de traitement d'addiction.....	18
Figure1. 2. Les formes de l'addiction. ....	20
Figure1. 3. Les Facteurs d'addiction.....	21
Figure1. 4. Addiction aux substances. ....	22
Figure1. 5. Addiction liée à l'individu. ....	24
Figure1. 6. Addiction liée à l'environnement .....	24
Figure1. 7. Le EEG signal sain, en train de fumer. ....	25
Figure1. 8. Le neurone et ses parties. ....	26
Figure1. 9. Les zones du cerveau humain qui sont particulièrement importantes dans l'addiction. ..	28
Figure1. 10: illustration d'un montage TDCS utilisé et de l'emplacement des électrodes .....	32

### Chapitre 02 :

Figure2. 1 : notre circuit réalisé .....	37
Figure2. 2: Carte Arduino Uno.....	38
Figure2. 3:AD8232 Le moniteur de fréquence cardiaque .....	39
Figure2. 4: la plaque d'essai.....	40
Figure2. 5: AOP LM324 .....	41
Figure2. 6: les Résistances 2K2.....	41
Figure2. 7: Les condensateurs 1uF, 47uF .....	41
Figure2. 8: Schéma bloc de notre circuit EEG .....	42
Figure2. 9: le circuit original .....	43
Figure2. 10: le circuit modifié .....	44
Figure2. 11:les modifications de circuit .....	44
Figure2. 12:les électrodes réalisées .....	45
Figure2. 13:Filtre passe bande (8-13 Hz) .....	46
Figure2. 14:Un diagramme de circuit de neurostimulateur (TDCS) .....	47
Figure2. 15:Le circuit réalisé .....	47
Figure2. 16: Le positionnement d'électrodes .....	48

### Chapitre 03 :

Figure3. 1: le signal EEG d'onde alpha (sain FP2) 53	
Figure3. 2: le signal EEG d'onde alpha (fumeur FP1) 54	
Figure3. 3: le signal EEG d'onde alpha (sain FP1) 54	
Figure3. 4: le signal EEG d'onde alpha (fumeur FP2) 54	
Figure3. 5: cas pathologique fumeur (amplitude-latence élevés) 57	
Figure3. 6: cas sain non-fumeur (amplitude et latence normales) 57	
Figure3. 7: les électrodes de TDCS et leur emplacement 59	
Figure3. 8: le neurostimulateur TDCS (intensité de 2-5 mA) 60	
Figure3. 9: A:avant l'application du neurostimulateur TDCS 63	B : après l'application du neurostimulateur TDCS
Figure3. 10 : le signal obtenu filtré par l'Arduino 64	
Tableau 1: Résultats de lobe droit Fp2.....	55
Tableau 2: Résultats de lobe gauche Fp1 .....	56

*Tableau 3: l'intensité de courant selon la résistance variable* ..... 60

## **Liste des abréviations :**

**TDCS** : Transcranial direct current stimulation

**EEG** : l'électro-encéphalogramme

**TCC** : Thérapie cognitive-comportementale

**IdO** : Internet des objets

**IA** : L'intelligence artificielle

**ECG** : L'électrocardiogramme

**NAC** : Le noyau accumben

**SCP** : La stimulation cérébrale profonde

**RLD** : Right leg drive

**RLDF** : Réponses à la jambe droite

**CMRR** : Le ratio de rejet de mode commun

**PFC** : Préfrontal cortex

**DLPFC** : Le cortex préfrontal dorso-latéral droit

**SVM** : Support vector machine

## Résumé

La dépendance au tabac est un problème de santé publique majeur à l'échelle mondiale. La dépendance chronique à la nicotine a des effets négatifs sur la santé physique et mentale des personnes, ce qui explique pourquoi les produits du tabac contiennent de la nicotine. Les fumeurs sont à risque accru de maladies cardiovasculaires, de cancer et de problèmes respiratoires, entre autres. Ce projet de recherche vise à étudier l'utilisation d'un neurostimulateur, plus spécifiquement la technique de stimulation du courant direct transcrânienne (TDCS), dans le contexte de l'EEG (électroencéphalographie). Notre étude a impliqué l'enregistrement des signaux EEG de fumeurs et de non-fumeurs dans les mêmes catégories d'âge et de sexe. Les résultats ont montré des différences significatives qui nous aident à mieux comprendre les mécanismes neurobiologiques derrière la dépendance.

**Les mots clés :** TDCS, EEG

## Abstract

Tobacco addiction is a major public health problem worldwide. Chronic nicotine addiction has negative effects on people's physical and mental health, which is why tobacco products contain nicotine. Smokers are at increased risk of cardiovascular disease, cancer and respiratory problems, among others. This research project aims to study the use of a neurostimulator, more specifically the transcranial direct current stimulation technique (TDCS), in the context of EEG (electroencephalography). Our study involved recording EEG signals from smokers and non-smokers in the same age and gender categories. The results showed significant differences that help us better understand the neurobiological mechanisms behind addiction.

**Keywords:** TDCS, EEG

## الملخص

الإدمان على التدخين هو مشكلة صحية عامة في جميع أنحاء العالم. الإدمان المزمن على النيكوتين له تأثيرات سلبية على الصحة البدنية والعقلية للأشخاص، وهذا هو السبب في أن منتجات التبغ تحتوي على نيكوتين. يتعرض المدخنين لخطر متزايد على أمراض القلب والأوعية الدموية والسرطان والأمراض التنفسية، بما في ذلك الآخرين. تطلع المشروع البحثي EEG ، في سياق (TDCS) إلى دراسة استخدام العضلات العصبية، وخاصة تقنية تحفيز الكهرباء المباشر عبر الرأس من المدخنين وغير المدخنون في نفس الفئات EEG وتشمل دراستنا تسجيل إشارات (électroencéphalographie). العمرية والجنسية. وقد أظهرت النتائج اختلافات مهمة تساعدنا على فهم أفضل الآليات العقلية البيولوجية خلف الإدمان

**الكلمات المفتاحية:** TDCS, EEG.

## **Remerciements**

*On remercie tout d'abord Dieu pour l'accomplissement de ce mémoire. La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à la contribution de plusieurs Personnes à qui on voudrait témoigner toute notre reconnaissance.*

*On remercie tout d'abord **Mr Hamza Cherif Lotfi** et **Mr Kromba Ibrahim** d'avoir accepté notre idée de PFE et nous encadrer, nous avoir guidé, encouragé et conseillé tout au long de ce projet de fin d'étude*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury **Mme** la présidente **BAAKAK YETTOU Nour Elhouda** et **Mme MEKKIOUI Nawel***

*Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptent examiner notre travail*

*On désire aussi remercier tout le corps professionnel et administratif De la filière génie biomédicale de l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen. Qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.*

*Je remercie ma chère maman qui est toujours été là pour moi « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous vous sommes redevable d'une éducation dont on est fier »*

**Nihed**

*À mes parents, sans qui je ne serais pas là aujourd'hui. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. À mes frère, mes sœurs,*

**Wail**

## ***Dédicaces***

*D'abord je remercie « Allah » de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achevé ce modeste travail.*

*je dédie ce modeste travail :*

*A qui est la plus chère dans ma vie, mon paradis, la prunelle de mes yeux, ma lune, pour sa bonté, tous ses sacrifices pour ses enfants, son soutien et sa patience face aux moments difficiles traversés au cours de ma vie, qui a partagé avec moi ma joie et ma peine : A ma mère merci beaucoup*

*Dédicace à mon père qui n'a pas pu voir mon travail, Qu'Allah te fasse miséricorde et te rende parmi les habitants du Paradis.*

*A ma chère tante et mes deux frères et bien sûr mon binôme Wail et ses membres de famille*

*Mes amies Zineb, Imene, Djihene, Sarah, Souhila, Marwa, Amel et mes collègues, je vous aime trop*

*A ceux qui m'ont encouragée et soutenue dans les moments les plus difficiles ; que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de ma profonde reconnaissance pour tout ce que vous avez fait*

*pour moi.*

***Nihed***

*Je remercie dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la force*

*de réaliser ce travail que je dédie :*

*Aux deux personnes les plus chères, qui ont partagé mes joies et mes peines : ma mère et mon père.*

*Je vous remercie pour votre soutien et votre présence durant cette année qui a été plus ou moins faciles, malgré les kilomètres qui nous séparaient.*

*A mes chères sœurs et frères avec lesquels j'ai vécu les bons et les mauvais moments*

*A toute ma grande famille sans exception.*

*A ma binôme Nihed que je remercie pour sa compréhension sa gentillesse et surtout ces efforts,*

*Et à toute sa famille*

*Mes amis Ahmed, Fares, Yacine, Islem, Monaim, Ibrahim Hamza Cherif, Rafik, Imad, Yaxine ben, Mohammed, Chiheb, Djawed, Bilel.*

*Et à toute personne ayant contribué de prêt ou de loin à la réalisation de ce travail*

***Wail***

---

## *Introduction Générale*

---

## **Introduction générale :**

En raison de la réticence de la personne à affronter ses difficultés et préoccupations, la perception du public concernant la santé mentale, notamment les addictions, a récemment changé. Nous vivons maintenant à une époque où l'accélération du mode de vie se produit en même temps qu'une augmentation du nombre de pressions quotidiennes exercées sur les individus. Sa vie personnelle et professionnelle est généralement gravement impactée, ce qui peut entraîner une baisse de productivité ou même une isolation sociale. Alors que l'esprit et la conscience d'une personne sont souvent les atouts les plus importants pour surmonter les obstacles, progresser vers la réalisation de leurs objectifs et concrétiser leurs aspirations. Les thérapeutes ont contribué à créer des modes pour le diagnostic, le traitement, la réhabilitation et l'évaluation après avoir réalisé les possibilités de ce nouveau modèle d'interaction. Notre objectif principal est de tester et traiter les anomalies cognitives et comportementales courantes en neuropsychologie et en psychiatrie en utilisant cette technologie.

En remplaçant les exercices traditionnels « sur papier » par des simulations réalistes d'activités quotidiennes, la technologie offre une nouvelle méthode supérieure pour évaluer et réhabiliter les fonctions cognitives. Nos recherches soutiennent l'efficacité et les avantages d'une approche basée sur le diagnostic et le traitement. Notre premier objectif est de créer des dispositifs basés sur l'encéphalographie pour chacun de ces sujets et d'évaluer leur viabilité. Le deuxième objectif est de déterminer comment l'addiction affecte le diagnostic et la thérapie des patients. Les résultats d'un essai clinique impliquant des toxicomanes fournissent des preuves de l'efficacité de la thérapie. Selon les professionnels de la santé, la propagation de tous les types de dépendances, y compris la dépendance sociale et particulière.

Lorsque le patient est exposé aux causes de l'addiction, il entre dans un état de panique, augmente son anxiété, perd le contrôle de lui-même, et la situation peut s'aggraver jusqu'à ce que le patient s'évanouisse et fasse une crise de nerfs. Cela nécessite l'élaboration de procédures de diagnostic et de traitement des addictions, les psychiatres considérant que la diminution progressive du facteur de peur du patient ou la confrontation directe avec les origines de son anxiété est l'un des moyens les plus efficaces de traitement. Avec l'avancée de la technologie et l'utilisation croissante des technologies, la vérité est que cette technologie s'intègre désormais parfaitement dans notre quotidien, notamment dans les secteurs de la médecine, de l'éducation, et ainsi de suite. Dans notre mémoire, nous avons l'intention de surveiller les signes vitaux du

patient lorsqu'il est exposé aux sources de son addiction, qui seront créées à l'aide de techniques réelles. La portée de ce concept réside dans la création d'une atmosphère sans risque pour faciliter l'identification et le traitement des personnes souffrant d'addictions.

Les options de traitement comprennent les modifications comportementales, la thérapie et les médicaments, et le diagnostic et le traitement peuvent nécessiter une coordination entre les professionnels de la santé et les spécialistes de la santé mentale. Les troubles anxieux peuvent être traités par une combinaison de modifications comportementales, de psychothérapie et de médicaments. L'exercice régulier, les habitudes de sommeil constantes, la limitation de la consommation de caféine, l'arrêt du tabac et les acides gras oméga-3 contenus dans l'huile de poisson sont autant d'exemples d'ajustements de mode de vie. L'anxiété peut être efficacement traitée à l'aide de la thérapie cognitive-comportementale (TCC) et de programmes basés sur la pleine conscience, et la TCC en ligne peut-être aussi utile que les séances en personne. La méditation seule a peu d'effet sur l'anxiété, bien que la méditation transcendantale ne soit pas plus utile que d'autres types de méditation. Les informations disponibles sont insuffisantes pour tirer une conclusion ferme sur le traitement des problèmes d'anxiété chez les adultes.

Un traitement basé sur l'aventure, tel que la thérapie en groupe, peut aider les personnes à développer des compétences pour faire face aux émotions négatives liées à l'anxiété. Les médicaments de première intention pour les personnes atteintes de TAG sont généralement des antidépresseurs, cependant il n'existe pas de preuve claire pour soutenir l'utilisation d'un seul médicament. La fluvoxamine s'est révélée efficace dans le traitement des troubles anxieux chez les enfants et les adolescents, tandis que la fluoxétine, la sertraline et la paroxétine peuvent également être bénéfiques dans le traitement de certaines formes d'anxiété dans ce groupe d'âge. Le traitement et les médicaments peuvent tous deux traiter efficacement les problèmes d'anxiété chez l'enfant, mais la thérapie est généralement préférée aux médicaments. La thérapie cognitive-comportementale (TCC) est souvent considérée comme l'approche privilégiée pour traiter les troubles anxieux de l'enfance, mais il existe également d'autres options de traitement efficaces pour ceux qui ne répondent pas à la TCC.

En nous basant sur les méthodologies scientifiques utilisées pour diagnostiquer et traiter les addictions, nous avons constaté que la combinaison de références scientifiques et de technologies modernes contribue à un diagnostic et un traitement plus facile, meilleurs et plus sûrs pour les patients.

L'Internet des objets (IdO) désigne des objets équipés de capteurs et de technologies leur permettant de se connecter et d'échanger des données avec d'autres appareils et systèmes via Internet ou d'autres réseaux. L'IdO a évolué grâce à la convergence de nombreuses technologies, notamment l'informatique omniprésente, les capteurs, les systèmes embarqués et l'apprentissage automatique. Dans le secteur grand public, la technologie de l'IdO est liée aux objets connectés "domotiques", tandis que dans le domaine de la santé, l'IdO peut être utilisé pour surveiller à distance les patients et augmenter la précision et l'efficacité du traitement. Les capteurs intégrés aux dispositifs médicaux peuvent transmettre des données en temps réel aux professionnels de la santé, contribuant à la détection précoce de problèmes de santé ou de complications. Les dispositifs portables peuvent être utilisés pour surveiller l'activité et les habitudes de sommeil d'un patient, ce qui peut aider les prestataires de soins de santé à adapter les plans de traitement. L'intelligence artificielle (IA) désigne la capacité des machines à exécuter des activités intelligentes telles que la reconnaissance vocale, la vision par ordinateur et la traduction de langage. L'IA est utilisée dans diverses applications, notamment les moteurs de recherche avancés, les systèmes de recommandation, les systèmes de reconnaissance vocale, les voitures autonomes et les outils génératifs. La recherche en IA vise à atteindre des objectifs tels que le raisonnement, l'apprentissage, le traitement du langage naturel, la vision et la résolution de problèmes. Les chercheurs en IA utilisent des méthodes telles que la recherche, la logique formelle, les réseaux neuronaux artificiels et les méthodes statistiques. L'IA repose sur diverses disciplines, dont l'informatique, la psychologie, la linguistique. Il existe de nombreux avantages à utiliser l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine de l'addictologie. En examinant les interactions des médias sociaux et les données physiologiques, l'IA peut identifier les risques de dépendance tôt. En déterminant les interventions les plus efficaces pour chaque personne, il facilite le diagnostic des maladies dépendantes et permet la personnalisation des thérapies. Les assistants virtuels alimentés par l'IA et les chatbots offrent un soutien continu à ceux qui subissent une récupération. L'IA peut également modifier les interventions en prévoyant les temps vulnérables et les chances de récurrence. L'analyse des médias sociaux, l'évaluation des risques de rechute, la prise en charge thérapeutique virtuelle, le suivi et la gestion des données et la prévision de l'efficacité du traitement sont quelques exemples d'applications pratiques.

Nos recherches examinent l'utilisation d'un dispositif pour la détection d'addiction dans la zone cérébrale par EEG et aide au diagnostic et au traitement par un neurostimulateur. Cependant, des obstacles tels que la réticence à divulguer des informations personnelles et

l'accès à des outils appropriés peuvent compromettre le succès du projet. Il est souligné que maintenir une bonne santé mentale est important car cela peut entraîner une productivité accrue et une meilleure qualité de vie. La technologie présentée offre une plateforme pour la recherche et le développement futurs dans les technologies pour la détection et le traitement des troubles mentaux et psychologiques, avec pour objectif ultime d'améliorer la qualité de vie des personnes souffrant d'addictions.

---

*CHAPITRE 01 :*

*L'état des lieux de l'addiction*

---

## **Introduction :**

L'addiction est une obsession irrationnelle et persistante envers un objet, une situation ou une action spécifique. C'est une forme de trouble anxieux qui touche des millions de personnes à travers le monde. Les chercheurs ont largement étudié l'impact de l'addiction sur les signes vitaux humains tels que les signaux de l'ECG (électrocardiogramme) et de l'EEG (électroencéphalogramme). Elle peut entraîner une augmentation significative de la fréquence cardiaque, de la tension artérielle et de la fréquence respiratoire, qui peuvent être détectées par les lectures de l'ECG. Selon les études, les personnes souffrant d'addiction présentent une activité sympathique accrue, qui est liée à une augmentation de la fréquence cardiaque et de la tension artérielle. Cette activité sympathique accrue peut également entraîner des modifications de la variabilité de la fréquence cardiaque, indiquant un risque accru de maladies cardiovasculaires. En revanche, les lectures de l'EEG peuvent fournir des informations sur la façon dont l'addiction affecte la fonction cérébrale. L'addiction peut altérer les ondes cérébrales, notamment dans les régions de fréquence alpha et bêta, ce qui indique une activation corticale accrue. Cette activation corticale accrue peut déclencher la réponse de lutte ou de fuite, entraînant des changements physiologiques supplémentaires dans le corps.

### **1. L'addiction et le principe médicale**

Une addiction est un type de trouble anxieux caractérisé par une envie intense et persistante d'un certain objet ou d'une situation. Le développement est généralement rapide et l'addiction peut durer au moins six mois. Les personnes souffrant d'addictions ont souvent recours à des comportements d'évitement pour réduire leur exposition au stimulus déclencheur, même si le risque réel est faible. En cas d'impossibilité d'évitement, cela peut entraîner une détresse considérable, avec parfois des évanouissements, en particulier chez les personnes qui ont une addiction forte. Les crises de panique sont également fréquentes chez les personnes souffrant d'addiction. Il est courant que les personnes ayant des addictions présentent plusieurs symptômes [1]. Les personnes atteintes d'addictions peuvent éprouver un niveau accru d'activation physiologique connu sous le nom de réaction de "combat ou de fuite" lorsqu'elles sont exposées à l'objet ou à la situation redoutée. La libération d'hormones de stress telles que l'adrénaline entraîne plusieurs symptômes physiques tels qu'une augmentation du rythme cardiaque, des sueurs, des tremblements et un essoufflement. Médicalement, ces symptômes sont une réaction normale au stress et à la panique. Cependant, chez les personnes ayant des

addictions, la réponse de peur peut être déclenchée même dans des situations non menaçantes, entraînant des symptômes accablants et handicapants. Étant donné que les addictions sont considérées comme un trouble mental qui cause une détresse significative et une altération de la vie quotidienne, il n'existe aucun principe médical ou méthode intentionnelle pour les provoquer. On estime qu'un mélange de facteurs génétiques, environnementaux et psychologiques contribue au développement des addictions. L'exposition à des événements traumatisants ou à des expériences négatives peut contribuer au développement d'une addiction. De plus, la recherche indique que certaines parties du cerveau, comme l'amygdale, peuvent jouer un rôle dans le développement des addictions [2].

## **2. Symptômes et différents traitements :**

La psychologie est une discipline scientifique qui étudie l'esprit et le comportement des individus et des animaux, explorant à la fois les phénomènes conscients et inconscients tels que les émotions et les pensées. Elle tente d'expliquer le comportement des individus et des communautés en tant que science sociale, découvrant les causes sous-jacentes et les solutions potentielles. Si la psychologie est souvent associée aux problèmes de santé mentale, elle a de vastes implications dans de nombreux domaines de l'activité humaine. La cyber psychologie est une branche de la psychologie qui étudie l'impact de la technologie sur le comportement humain et la psyché, couvrant des sujets tels que l'identité en ligne, l'addiction et la cyber sécurité. Les troubles anxieux sont un groupe de maladies mentales caractérisées par une anxiété intense et une peur qui entravent le fonctionnement d'une personne. Des symptômes physiques et cognitifs tels que l'agitation, l'impatience et les difficultés de concentration peuvent survenir. Le trouble anxieux est un terme générique regroupant diverses affections telles que les addictions, le trouble anxieux généralisé, le trouble panique, et autres. Une évaluation médicale est nécessaire pour déterminer si l'anxiété n'est pas causée par un autre problème médical ou mental.

Les troubles anxieux tels que les addictions peuvent entraîner divers symptômes physiques et psychologiques. Les symptômes physiques peuvent inclure des vertiges, des évanouissements et des quintes de toux, tandis que les symptômes psychologiques peuvent inclure la peur de perdre le contrôle ou la déconnexion de la réalité. Dans les cas graves, les addictions peuvent provoquer des crises de panique, qui peuvent perturber la vie quotidienne et entraîner des sentiments d'inquiétude, de désespoir et de stress [3]. Les personnes souffrant d'addictions peuvent bénéficier de différentes options thérapeutiques qui peuvent les aider à

surmonter leur peur. Le traitement comportemental, qui inclut l'exposition progressive à l'objet ou à la situation redoutée, et la thérapie cognitive-comportementale, qui aide les clients à modifier les pensées et les croyances négatives sur l'addiction, sont deux de ces techniques. La thérapie de groupe peut également aider à réduire l'isolement et améliorer les compétences sociales, tandis que les médicaments tels que les antidépresseurs et les anxiolytiques peuvent aider à contrôler les symptômes d'anxiété. Les options de traitement des addictions incluent la désensibilisation systématique, la relaxation progressive, la réalité virtuelle, la modélisation, les médicaments et l'hypnose. Cependant, les thérapies comportementale, cognitive-comportementale, de groupe et médicamenteuse sont les plus souvent utilisées [4]. La technique de traitement choisie dépend de la gravité de l'addiction ainsi que des préférences et des besoins de la personne, et comme le montre la figure 1.1, un professionnel de santé peut donner des indications et aider à déterminer la voie de traitement la plus appropriée.

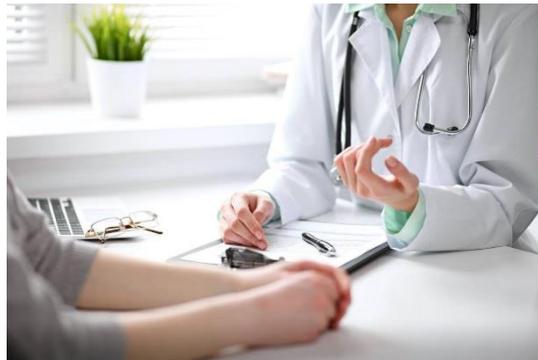


Figure1. 1.Méthode de traitement d'addiction.

### 3. Les formes d'addiction

Les formes d'addiction (figure 1.2) sont nombreuses et peuvent toucher différents aspects de la vie d'une personne. Parmi les addictions les plus courantes, on retrouve la dépendance aux substances psychoactives comme l'alcool, les drogues, le tabac ou encore les médicaments. Les addictions comportementales sont également fréquentes, comme les jeux d'argent, internet, jeux vidéo, sexe ou à la nourriture. Les troubles liés à l'usage de ces substances ou comportements sont souvent caractérisés par une perte de contrôle, une dépendance physique ou psychologique et des conséquences néfastes sur la santé de l'individu.

- **Dépendance aux substances** : se réfère à une forte envie de consommer une drogue, malgré les conséquences négatives qu'elle peut avoir. Les drogues peuvent inclure des substances illégales telles que la cocaïne, l'héroïne et la méthamphétamine, ainsi que des substances légales comme l'alcool, le tabac et les médicaments sur ordonnance.
- **Dépendance aux jeux** : est un comportement compulsif qui consiste à jouer des jeux de hasard, malgré les conséquences négatives que cela peut avoir sur les finances et la vie personnelle. Les caractéristiques de cette dépendance peuvent inclure un besoin accru de jouer pour ressentir le même niveau de satisfaction, le mensonge sur la fréquence et l'ampleur de l'activité de jeu et des problèmes financiers en raison des dépenses excessives en jeux de hasard.
- **Dépendance à internet** : est une utilisation excessive d'internet qui peut interférer avec les activités quotidiennes et les relations personnelles. Elle cause une forte envie d'être en ligne, la difficulté à se déconnecter et l'utilisation d'internet pour éviter les problèmes émotionnels ou les responsabilités quotidiennes.
- **Dépendance sexuelle** : est un comportement compulsif qui consiste à rechercher des expériences sexuelles, la personne poursuit ces activités sexuelles dangereux ou inappropriés malgré les conséquences négatives sur sa vie personnelle et la difficulté à maintenir des relations saines.

La recherche en psychologie et en neurosciences a mis en évidence que les mécanismes neurobiologiques aux substances impliqués dans les addictions sont similaires, qu'il s'agisse d'une addiction aux substances ou d'une addiction comportementale. Les substances psychoactives, par exemple, ont un effet direct sur le système de récompense de cerveau, en augmentant la libération de dopamine, un neurotransmetteur associé à la sensation de plaisir et de bien-être. Les comportements addictifs, quant à eux, peuvent également entraîner une augmentation de la libération de dopamine, renforçant ainsi la répétition d'activité. Cependant, d'autres facteurs, tels que l'environnement, les influences sociales et les facteurs de stress, peuvent également jouer un rôle important dans le développement et le maintien des addictions. Pour comprendre les formes d'addiction, il est donc essentiel de prendre en compte l'ensemble des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux qui y sont associés.

Il est important de noter que les formes d'addiction peuvent varier en fonction de la culture aussi, l'âge, du genre et de nombreux autres facteurs.



Figure1. 2. Les formes de l'addiction.

#### 4. Les facteurs d'addiction

En général, les gens consomment de la drogue pour plusieurs raisons :

- Pour se sentir bien : Les drogues peuvent produire d'intenses sensations de plaisir. Ce l'euphorie initiale est suivie d'autres effets, qui diffèrent selon le type de drogue utilisée. Par exemple, avec des stimulants comme la cocaïne, l'élévé est suivi d'un sentiment de pouvoir, de confiance en soi et d'une augmentation énergie. En revanche, l'euphorie provoquée par les opioïdes comme l'héroïne est suivi d'un sentiment de détente et de satisfaction.
- Se sentir mieux : Certaines personnes souffrant d'anxiété sociale, de stress, et la dépression commencent à consommer des drogues pour essayer de se sentir moins anxieux. Stress peuvent jouer un rôle majeur dans le début et la poursuite de la consommation de drogues ainsi que dans rechute (reprise de la consommation de drogue) chez les patients qui se remettent d'une dépendance.
- Faire mieux : Certaines personnes ressentent une pression pour améliorer leur concentration dans à l'école ou au travail ou leurs capacités sportives. Cela peut jouer un rôle dans essayer ou continuer à consommer des drogues, comme des stimulants sur ordonnance ou cocaïne.
- Curiosité et pression sociale : À cet égard, les adolescents sont particulièrement à risque car la pression des pairs peut être très forte. L'adolescence est une période de développement au cours de laquelle la présence de facteurs de risque, tels que des pairs qui consomment des drogues, peut conduire à la consommation de substances. [5]

Les individus ne sont pas égaux devant le risque de passage d'une consommation à une addiction. La pathologie addictive résulte d'une interaction entre plusieurs facteurs de vulnérabilité susceptibles de se renforcer : liés aux substances, à l'individu et à l'environnement. [6]

Ces facteurs (figure1.3) ont un poids différent selon le stade de l'addiction :

- les facteurs environnementaux et les traits de personnalité ont une influence plus marquée sur l'initiation de la consommation de substance.
- les facteurs génétiques ont un poids plus important pour la transition de l'usage régulier à la dépendance. [7]

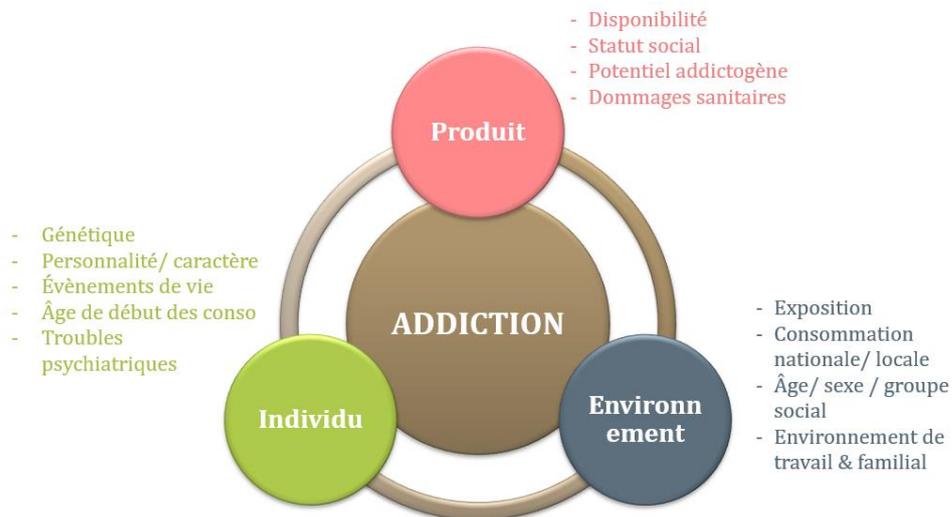


Figure1. 3. Les Facteurs d'addiction.

#### 4.1. Les substances

Toutes les substances addictives, licites ou non, partagent la capacité d'activation du système de récompense qui suscite la répétition des comportements capables d'induire une sensation de plaisir ou de « high », jusqu'à faire négliger les activités normalement nécessaires. L'évolution vers un état de dépendance après expérimentation est néanmoins variable selon les produits psychoactifs : 68 % chez les sujets qui avaient expérimenté le tabac, 23 % chez ceux qui avaient expérimenté l'alcool, 9 % chez ceux qui avaient expérimenté le cannabis et 21 % chez ceux qui avaient expérimenté la cocaïne. (Figure1.4)

Le risque de complications somatiques, psychiques et sociales diffère également en fonction du produit objet d'addiction. La puissance psychogène du cannabis est globalement

moindre que celle de l'amphétamine. La cocaïne est davantage susceptible de générer un dérèglement thymique que le tabac. [8]

Donc, ces substances agissent sur le système de récompense du cerveau en libérant des neurotransmetteurs tels que la dopamine, qui procure une sensation de plaisir et de bien-être. Cette récompense renforce le comportement de consommation et peut conduire à l'addiction.

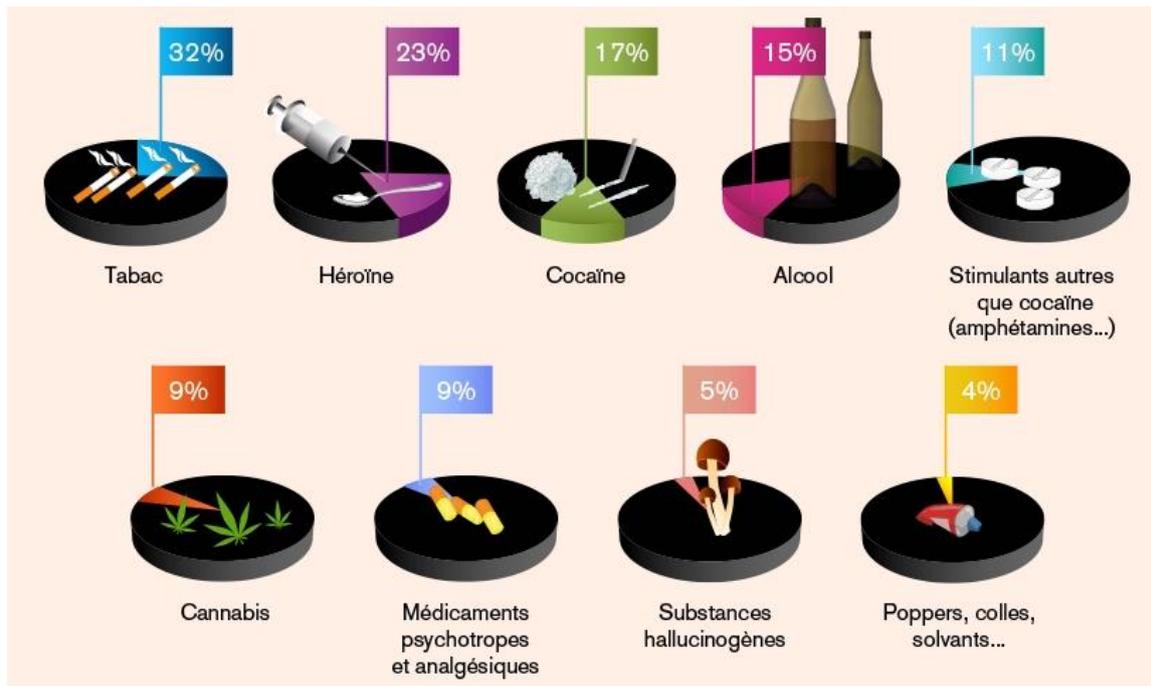


Figure 1. 4. Addiction aux substances.

## 4.2. L'individu

L'âge auquel on consomme pour la première fois et les facteurs génétiques. En plus des attributs de caractère, les problèmes de santé mentale sont des facteurs qui rendent les individus vulnérables à l'addiction.

### 4.2.1 L'âge de la première consommation :

Est un facteur important pour prédire la vulnérabilité à la toxicomanie. Les études longitudinales ont montré que plus le moment de la première consommation est précoce, plus la probabilité de dépendance ultérieure est grande. Ceci est vrai pour toutes les substances, du tabac à l'alcool et au cannabis. Les adolescents sont plus susceptibles d'être affectés par les substances en raison de la maturation précoce des circuits sous-corticaux tels que les circuits de récompense, de motivation et de réactivité émotionnelle par rapport à la maturation plus tardive

des circuits préfrontaux, notamment le contrôle inhibiteur cognitif, émotionnel et comportemental. Cela signifie que les adolescents ont un contrôle inhibiteur moins actif et sont donc plus susceptibles aux effets des substances.

#### **4.2.2. Les facteurs génétiques :**

La recherche a montré que les facteurs génétiques jouent un rôle important dans l'addiction. En effet, la part d'héritabilité est estimée entre 30 et 60% selon les études, ce qui est particulièrement significatif lorsque la pathologie addictive est sévère, aussi bien en termes d'ampleur que de répercussions. Les études sur l'héritabilité de l'addiction mettent en évidence le rôle primordial de la génétique dans le développement de ces troubles, et offrent une meilleure compréhension des causes sous-jacentes.

Certaines vulnérabilités génétiques sont communes à tous les types de dépendance, tandis que d'autres peuvent être spécifiques à certaines dépendances. Sans préciser les substances, Les addictions sont des pathologies multifactorielles dont de nombreux polymorphismes génétiques ont été décrits. Le polymorphisme TaqIA (SNP rs1800497) du gène du récepteur dopaminergique D2 est associé à l'alcoolodépendance, tandis que le gène FAM53B, régulateur de la prolifération cellulaire, est lié à la dépendance à la cocaïne.

#### **4.2.3. Les troubles mentaux et traits de personnalité :**

Faible estime de soi, autodépréciation, timidité, mauvais contrôle émotionnel, difficultés à avoir des relations stables et à résoudre les problèmes interpersonnels sont différents traits de personnalité possibles facteurs de risque d'installation d'une conduite addictive. [9]

L'impulsivité est un trait qui favorise l'addiction et les rechutes après sevrage. En effet, lorsqu'une personne souffre d'une addiction, cela aggrave son impulsivité, ce qui entraîne une spirale de plus en plus négative. La recherche de sensations est aussi un facteur important qui favorise l'initiation à des conduites addictives. Une fois l'addiction installée, cela peut conduire à une dépendance extrême et à un comportement compulsif. Par conséquent, il est important de prendre en compte le trait impulsif et la recherche de sensations pour prévenir et contrôler les addictions.

Donc, Certaines personnes souffrant de troubles mentaux tels que la dépression ou l'anxiété peuvent être plus susceptibles de développer une addiction, que peut être le résultat d'une tentative de soulager leurs symptômes.

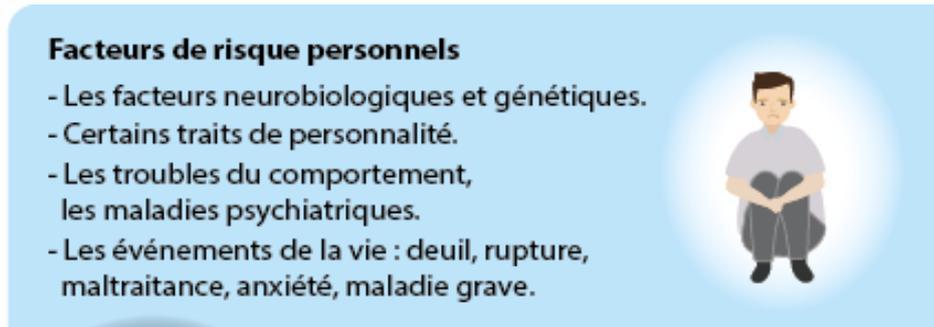


Figure1. 5. Addiction liée à l'individu.

### 4.3. L'environnement

L'exposition à la drogue peut être un facteur de risque pour l'addiction. Par exemple, les enfants de parents alcooliques ont un risque plus élevé de développer une addiction à l'alcool.

La pression des pairs : où les jeunes peuvent être encouragés à essayer et consommer des substances par leur entourage.

Les facteurs sociaux et économiques jouent un rôle important dans le développement des addictions. Les personnes vivant dans des conditions de pauvreté ou de marginalisation sont plus susceptibles de développer une addiction car elles peuvent avoir accès à des substances plus facilement et être soumises à des pressions sociales plus intenses. D'autres facteurs, comme le manque de soutien familial, la prévalence de la toxicomanie dans la communauté et l'absence d'opportunités économiques, peuvent également contribuer au développement d'une addiction.



Figure1. 6. Addiction liée à l'environnement

## 5. La contribution d'EEG dans le diagnostic d'addiction

L'importance d'utiliser des mesures d'EEG pour diagnostiquer les réponses physiologiques et neurologiques liées à l'addiction est également soulignée comme des perturbations illustrées dans la (figure 1.7). Ces outils peuvent permettre une approche globale et multidisciplinaire de l'étude et du diagnostic des addictions, conduisant à un plan de traitement plus précis et personnalisé. L'utilisation de l'EEG peut également contribuer au développement de nouveaux traitements et interventions pour l'addiction, améliorant ainsi la vie des personnes vivant avec une addiction. Une étude de cas portant sur l'addiction aux serpents a démontré la potentialité d'une augmentation transitoire de la flexibilité cérébrale en tant que mécanisme neurophysiologique fonctionnel de la thérapie par exposition, bien que les limites de l'étude doivent être prises en compte.

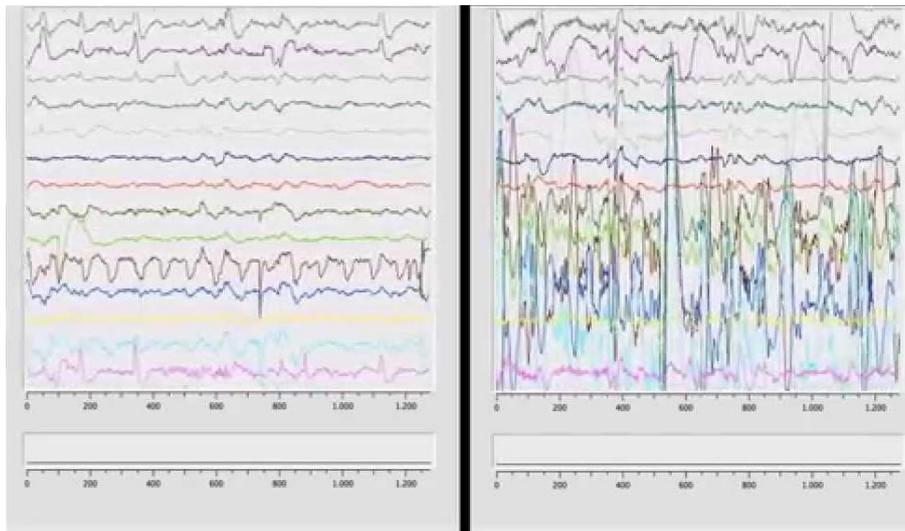


Figure 1. 7. Le EEG signal sain, en train de fumer.

### 5.1. Relation entre cerveau et addiction

#### 5.1.1. Le cerveau

Le cerveau humain est l'organe le plus complexe du corps. Que 3 masses de matière grise est au centre de toute activité humaine, Le cerveau est un organe incroyablement complexe qui fonctionne constamment. Dans le cerveau, un mélange des processus chimiques et électriques contrôle les fonctions les plus basiques du corps, comme la respiration et la

digestion. Ces processus contrôlent également la façon dont les gens réagissent aux multitudes de sons, d'odeurs et d'autres stimulations sensorielles autour. Ils organisent et dirigent les plus hauts pouvoirs de pensée et d'émotion des individus afin qu'ils puissent interagir avec d'autres personnes, effectuer des activités quotidiennes et prendre des décisions complexes.

Le cerveau est composé d'environ 86 milliards de cellules nerveuses – appelées neurones – ainsi que d'autres types de cellule. Chaque neurone a un corps cellulaire, un axe et des dendrites. Le corps cellulaire et son noyau contrôlent les activités des neurones. L'axone s'étend du corps cellulaire et transmet des messages à d'autres neurones. Dendrites branches hors du corps cellulaire et recevoir des messages des axones d'autres neurones.

Les neurones communiquent entre eux à travers des messagers chimiques appelés neurotransmetteurs (figure 1.8). Les neurotransmetteurs traversent un petit espace, ou synapse, entre les neurones et s'attachent aux récepteurs sur le neurone récepteur. Certains neurotransmetteurs sont inhibiteurs, ils rendent moins probable que le neurone récepteur effectue une action. D'autres sont excitantes, ce qui signifie qu'elles stimulent la fonction neuronale, l'amorçant à envoyer des signaux à d'autres neurones. Les neurones sont organisés en groupes qui remplissent des fonctions spécifiques. Par exemple, Certains réseaux sont impliqués dans la pensée, l'apprentissage, les émotions et la mémoire. Autres réseaux communiquent avec les muscles, les stimulant à agir. D'autres reçoivent et interprètent des stimuli provenant des organes sensoriels, tels que les yeux et les oreilles, ou la peau [10]. Ce processus est ce qu'on appelle la transmission synaptique et il est responsable de la communication entre les neurones et de nombreux processus biochimiques vitaux.

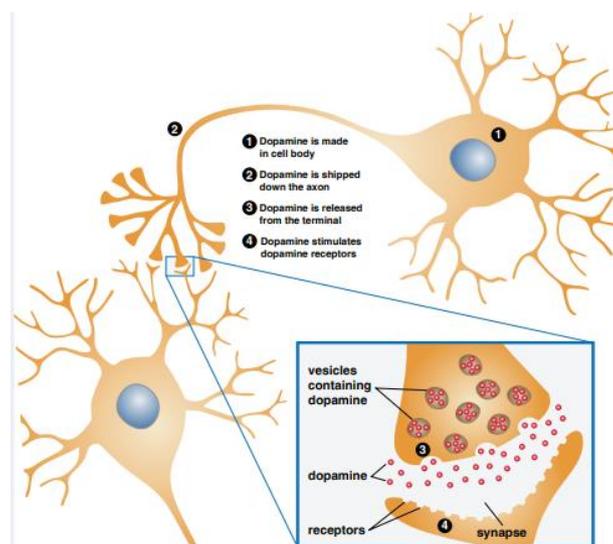


Figure 1. 8. Le neurone et ses parties.

Cette structure complexe et dynamique est composée de nombreuses parties interconnectées qui travaillent ensemble pour coordonner et exécuter des fonctions spécifiques. Les réseaux de neurones du cerveau envoient des signaux entre eux et entre différentes parties du cerveau, de la moelle épinière et des nerfs du système nerveux périphérique. Ces signaux communiquent des informations sur le fonctionnement et les réactions du corps, en permettant aux différentes parties du cerveau de communiquer entre elles et de s'adapter aux changements environnementaux. La régulation et la coordination des fonctions vitales sont assurées par le système nerveux central, qui est le siège des processus cognitifs et comportementaux. Ainsi, le cerveau fonctionne en tant que système interconnecté et intégré qui permet aux différentes parties du corps de fonctionner de manière harmonieuse.

Au lieu de circuits électriques sur les puces de silicium qui contrôlent nos dispositifs électroniques, le cerveau est constitué de milliards de cellules, appelées neurones, organisées en circuits et en réseaux. Ces neurones sont reliés entre eux par des connexions synaptiques. Chaque connexion est un lien entre deux neurones et permet à l'un de transmettre des informations à l'autre. Les neurones communiquent entre eux par le biais de substances chimiques appelées neurotransmetteurs. Les neurones sont des cellules nerveuses qui sont à l'origine de la transmission des informations dans le système nerveux. Chaque neurone agit comme un interrupteur contrôlant le flux d'informations. Si un neurone reçoit suffisamment de signaux d'autres neurones auxquels il est connecté, il se déclenche et envoie son propre signal aux autres neurones du circuit. Ce flux d'informations entre les neurones est le moyen par lequel le cerveau peut traiter et stocker des informations et effectuer des tâches. [11]

Le cycle de dépendance perturbe les fonctions normales de certains de ces réseaux neuronaux.

### **5.1.2. L'effet de l'addiction sur le cerveau :**

Pour comprendre comment les substances addictives affectent le cerveau, il est important de comprendre d'abord la biologie de base de la toxicomanie et le fonctionnement du cerveau sain. Les produits addictifs peuvent altérer certaines zones cérébrales importantes nécessaires au maintien d'une vie normale (figure 1.9). Ces zones sont essentielles pour les fonctions cognitives, comportementales et émotionnelles. Ces zones comprennent :

- **Les ganglions basaux :** qui jouent un rôle important dans les formes positives de motivation, y compris les effets agréables des activités saines telles que manger,

socialiser, et le sexe, et sont également impliqués dans la formation d'habitudes et routines. Ces zones constituent un nœud clé de ce qui est parfois, C'est ce qu'on appelle le « circuit de récompense » du cerveau. Les médicaments suractivent ce circuit. Avec une exposition répétée, le circuit s'adapte à la présence du médicament, diminuant sa sensibilité et rendant difficile de ressentir le plaisir de quoi que ce soit en plus de la drogue.

- **L'amygdale étendue** : joue un rôle clé dans les sentiments stressants tels que l'anxiété, l'irritabilité, et l'inconfort, qui caractérisent le retrait après le médicament. Cela provoque une sensation désagréable qui pousse l'utilisateur à chercher à nouveau le médicament pour se sentir à nouveau bien. Ce cycle se renforce à chaque consommation et devient de plus en plus puissant. Avec le temps, la personne atteinte d'un trouble de l'abus de substances aura de plus en plus de difficulté à arrêter la consommation de drogues.
- **Le cortex préfrontal** : renforce la capacité de penser, de planifier, de résoudre des problèmes, Prendre des décisions et exercer un contrôle de soi sur les impulsions. C'est aussi la dernière partie du cerveau à mûrir, rendant les adolescents les plus vulnérables. Changement d'équilibre entre ce circuit et les circuits des ganglions basaux et l'amygdale étendue fait une personne addictive cherche le médicament de manière compulsive avec un contrôle des impulsions réduit. [12]

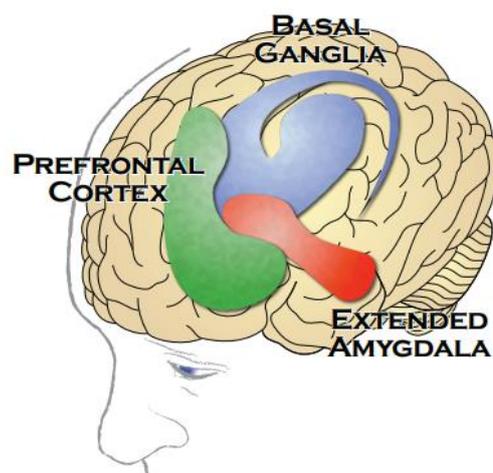


Figure 1. 9. Les zones du cerveau humain qui sont particulièrement importantes dans l'addiction.

Toutes les drogues ayant des effets psychoactifs activent les voies du circuit de récompense du cerveau. L'usage de cette terminologie maintient un équilibre délicat dans pas moins de cinq aspects de l'ordre naturel.

1. Une isolation de neurones, sérotoninergiques et noradrénergiques, entraînant la perturbation de l'interprétation.
2. L'abus fréquent de substances peut affaiblir le système de récompense du cerveau, l'amenant à devenir moins sensible aux plaisirs naturels. Les drogues psychoactives induisent la libération de dopamine dans le NAC (noyau accumbens), ce qui peut annuler les mécanismes naturels de satiété qui régulent les récompenses naturelles. Au fur et à mesure que la dépendance progresse, le nombre de récepteurs de la dopamine diminue, entraînant une disponibilité réduite de la dopamine. Cette altération du nombre et de la sensibilité des récepteurs peut parfois être attribuée à une prédisposition génétique. Par conséquent, les personnes aux prises avec une dépendance peuvent avoir du mal à tirer du plaisir des récompenses naturelles.
3. Indépendamment de la cause, l'installation de cette hypo-sensibilité nécessitera des stimulations ou des doses plus fortes pour avoir le même effet.
4. Il est associé à une diminution du contrôle inhibiteur du cortex, qui favorise les comportements impulsifs, compulsifs et de jugement (orbitofrontal, dorsolateral, cingulate).
5. La synthèse significative de molécules anxiolytiques antagonistes (Dyn et CKK) « anti-opioïdes cholécystokinine et dynorphine libérées dans le NAC » protège le circuit de l'hyperstimulation des médicaments. C'est le principe du processus opposé. La persistance de ces molécules induisant l'anxiété entraînera une phase très dysphorique en l'absence de médicaments. [13]

Les substances peuvent influencer sur une variété de fonctions neuronales, y compris le transport, la rétroaction et la libération des neurotransmetteurs. Ces produits interagissent avec la façon dont les neurones envoient, reçoivent et traitent les signaux en se liant aux sites des neurotransmetteurs. Certaines drogues, comme la marijuana et l'héroïne, sont capables de lier les neurones car leur structure chimique est similaire à celle des neurotransmetteurs naturels. Cette similitude leur permet de s'attacher aux cellules nerveuses et de les activer. De plus, les médicaments peuvent changer la concentration des neurotransmetteurs, ce qui peut entraîner des changements dans le comportement et la perception. Bien que ces médicaments imitent le

fonctionnement du cerveau en produisant des produits chimiques similaires à ceux des neurotransmetteurs, ils n'activent pas les neurones de la même manière qu'un neurotransmetteur naturel. Cela conduit à l'envoi de messages anormaux à travers le réseau neuronal, ce qui peut entraîner des effets secondaires indésirables.

Les drogues comme l'amphétamine et la cocaïne peuvent avoir des effets néfastes sur le cerveau. Elles libèrent des quantités anormalement élevées de neurotransmetteurs naturels, ce qui interfère avec les transporteurs et perturbe la communication normale entre les neurones. Cela peut entraîner la désactivation des neurones. De plus, l'utilisation de ces drogues peut causer des dommages cérébraux irréversibles et des problèmes de santé mentale graves.

L'addiction peut avoir des effets graves sur la santé physique et mentale, ainsi que sur les relations et le bien-être général de la personne. Les méthodes de traitement les plus efficaces pour la dépendance comprennent les thérapies comportementales, les thérapies médicamenteuses et les thérapies assistées par la technologie. Il n'y a pas de méthode de traitement unique qui convienne à toutes les personnes souffrant d'addiction, et le choix du traitement dépendra des besoins individuels de chaque patient.

La meilleure méthode de traitement pour l'addiction dépendra des besoins individuels de chaque patient. Certaines personnes peuvent répondre mieux à une approche de traitement combinée, tandis que d'autres peuvent préférer une approche plus traditionnelle. Il est important que les patients reçoivent une évaluation complète de leur état et de leurs antécédents pour déterminer le meilleur traitement pour eux.

Dans l'ensemble, il est important de reconnaître que l'addiction est un trouble complexe qui nécessite une approche fréquentielle personnalisée pour le traitement[14]. Les thérapies comportementales et médicamenteuses ont été largement étudiées et sont des méthodes de traitement efficaces pour l'addiction. Les thérapies assistées par la technologie sont également une option prometteuse en développement. Il est important de trouver un traitement adapté aux besoins individuels de chaque patient pour assurer une rémission durable de l'addiction.

Dans le prochain chapitre nous allons voir la réalisation du dispositif d'aide au diagnostic d'addiction par encéphalographie.

## **6. La contribution de la neurostimulation dans le traitement de l'addiction :**

Le terme "neurostimulation" décrit l'utilisation de procédures et d'outils médicaux pour stimuler les nerfs du corps, en particulier ceux du système nerveux central et périphérique. La neurostimulation modifie ou contrôle l'activité électrique des nerfs pour guérir ou soulager une variété de troubles médicaux.

La neurostimulation a une variété d'applications dans le traitement de la dépendance. Pour illustrer, la stimulation cérébrale profonde (SCP) consiste à insérer des électrodes dans des régions du cerveau spécifiques et à les stimuler avec des courants électriques faibles. En régulant l'activité des circuits responsables des comportements et des désirs compulsifs, cette approche a été étudiée comme un traitement potentiel pour les maladies addictives telles que la cocaïne ou l'alcoolisme[15].

Un autre type de neurostimulation qui a été lié à la dépendance est le courant continu transcrânien. (TDCS). Afin de modifier l'excitabilité des zones cérébrales sous-jacentes, le TDCS implique l'administration d'un courant électrique bas et constant au cuir chevelu. (Figure1.10)

Cette technique a été étudiée pour sa capacité à réduire les envies de drogue et à améliorer les processus mentaux liés au contrôle des impulsions et à la prise de décision. Par exemple, la recherche a démontré que l'administration de TDCS au cortex préfrontal dorso-latéral lié au contrôle des impulsions aide à réduire les envies des fumeurs. Une étude de 2014 a utilisé la stimulation du courant direct transcrânien (TDCS) pour altérer l'activité cérébrale préfrontale dorso-latérale, chez les fumeurs atteints de dépendance à la nicotine. Par rapport au groupe placebo, les participants qui ont reçu une stimulation anodine ont connu beaucoup moins d'envie de cigarettes. Cela montre que TDCS peut aider les fumeurs dépendants à réduire leurs envies de nicotine. De nombreuses équipes ont montré que les personnes atteintes de dépendance à l'alcool qui ont reçu un traitement TDCS avaient une réduction des envies. (Da Silva et al., 2013) ; (den Uyl et al, 2015, 2016) ; (Wietschorke et al. 2016), (Boggio et al). Cependant, d'autres études n'ont pas révélé cet effet. (Vanderhasselt et al., 2020) ; (den Uyl et al, 2017, (2018 Klauss et al). (He et al., 2017) "Stimulation de courant direct transcrânien pour le craving de tabac : une revue systématique et une méta-analyse d'essais cliniques randomisés contrôlés par la tromperie" - Cette méta-analyse a rassemblé plusieurs essais cliniques qui ont été contrôlés par la randomisation et le placebo pour examiner l'impact de la

stimulation de courants directs transcrânienne sur les envies de tabac[16]. Selon les résultats, TDCS

était significativement lié à une diminution des envies de fumer par rapport à un placebo.

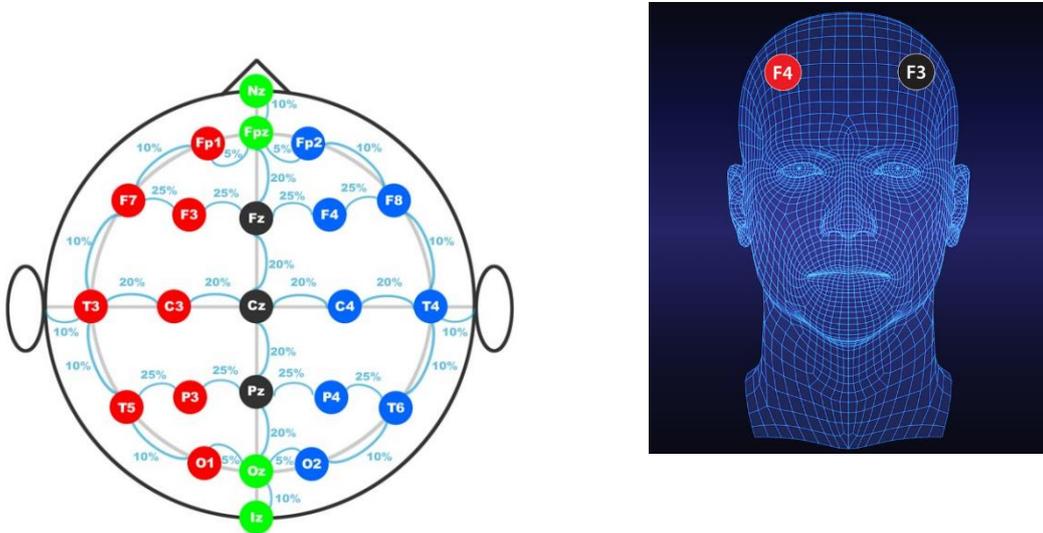


Figure1. 10: illustration d'un montage TDCS utilisé et de l'emplacement des électrodes

## Conclusion :

En résumé, la dépendance est un problème complexe qui nécessite une approche multiforme du diagnostic et du traitement. L'électro-encéphalographie, ou EEG, a montré de la promesse dans le diagnostic de la dépendance en révélant des détails importants sur les modèles d'activité cérébrale liés à ce trouble.

L'utilisation de l'EEG peut aider à l'identification précoce et précise de la dépendance en identifiant les signatures neuronales particulières associées à celle-ci. En outre, il facilite la compréhension des causes fondamentales de la dépendance et modifie les stratégies de traitement en conséquence. Une alternative thérapeutique prometteuse pour le traitement de la dépendance est la stimulation du courant continu Transcrânienne (TDCS). Selon des études, le TDCS a la capacité de réguler l'activité cérébrale et les circuits impliqués dans les processus de récompense et de contrôle des impulsions, qui sont gênés chez les personnes dépendantes.

En fonction des caractéristiques du patient et de la nature exacte de la dépendance, l'efficacité du TDCS dans le traitement de l'addiction diffère. Cependant, des recherches préliminaires indiquent que cette stratégie non invasive peut soutenir d'autres thérapies et aider à réduire les symptômes d'abstinence, les envies compulsives et les rechutes. Il faut souligner que la dépendance est un problème complexe qui nécessite des soins complets, y compris des thérapies psychologiques, comportementales et pharmacologiques. Un développement prometteur est l'utilisation de l'EEG dans le diagnostic de la dépendance et du TDCS dans la thérapie de la toxicomanie, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement leur efficacité à long terme et la meilleure façon de les incorporer dans les régimes de traitement actuels.

En conclusion, la neurostimulation TDCS et l'utilisation de l'EEG dans le diagnostic et la thérapie de la dépendance offrent des perspectives positives pour faire progresser nos connaissances et notre capacité à traiter ce trouble. De nouvelles modalités thérapeutiques et des perspectives de récupération améliorées pour ceux qui luttent avec la dépendance sont rendues possibles par ces développements en neurologie et en neuromodulation.

Nous anticiperons l'assemblage de circuit, le fonctionnement et les étapes de cet assemblage dans le chapitre suivant. Ces tâches sont remplies par les électeurs réunis dans ce chapitre.



---

*CHAPITRE 02 :*  
*Design et prototype*

---

## **Introduction :**

Ce chapitre se concentre sur l'aspect pratique de notre projet, qui tente de mettre en œuvre un système composé de deux parties cruciales pour faire face au problème de la dépendance. La réalisation d'un premier circuit est la première étape pour l'acquisition du signal électro-encéphalogramme (EEG) à la fois de cas sains et malades. Nous pouvons examiner les variations des modèles d'activité cérébrale entre les deux groupes en utilisant ce circuit, ce qui nous aidera également à comprendre les causes fondamentales de la dépendance.

Nous serons en mesure d'enregistrer et d'amplifier les impulsions cérébrales, ce qui nous donnera une grande chance d'étudier les traits distincts liés aux situations normales et anormales.

La deuxième partie de notre système est de créer un neurostimulateur pour la gestion de la dépendance. L'application de courants électriques de faible intensité à certaines régions du cerveau afin de modifier leur activité est connue sous le nom de neurostimulation. Cette stratégie de neuromodulation, connue sous le nom de stimulation du courant continu transcrânienne (TDCS), a démontré des résultats prometteurs dans le cadre de la dépendance.

Notre objectif est de réaliser un neurostimulateur qui est efficace, sûr et capable de fournir une stimulation électrique précise et ciblée pour traiter les effets de la dépendance. Afin de comprendre les régions du cerveau impliquées dans la dépendance et les modèles d'activité qui caractérisent ces états pathologiques, nous tirerons parti des connaissances acquises dans la partie diagnostique de notre projet.

Notre stratégie finale de lutte contre la dépendance combinera la composante diagnostique avec le circuit modifié pour recueillir des EEG de cas sains et pathologiques et la composante de traitement avec la création d'un neurostimulateur adéquat pour l'accompagnement de notre dispositif. Nous visons d'explorer de nouvelles trajectoires et d'acquérir une compréhension plus profonde des fondements neuronaux de la dépendance afin de pouvoir aider le patient dans son parcours de réhabilitation.

Nous avons réalisé un système composé de nombreux dispositifs électroniques, y compris le circuit d'acquisition de l'encéphalogramme (EEG) [17] et le neurostimulateur [18], sur la base des connaissances acquises dans le chapitre précédent. Après de nombreuses tentatives qui seront décrites dans ce chapitre, un design a ensuite été réalisé.

## 1. Les différentes parties du circuit réalisé

Notre circuit montré dans la figure 2.1 se compose de différentes parties qui ont été utilisées dans la réalisation de notre circuit d'aide au diagnostic et de thérapie dans l'intégralité de ces parties qui sont :

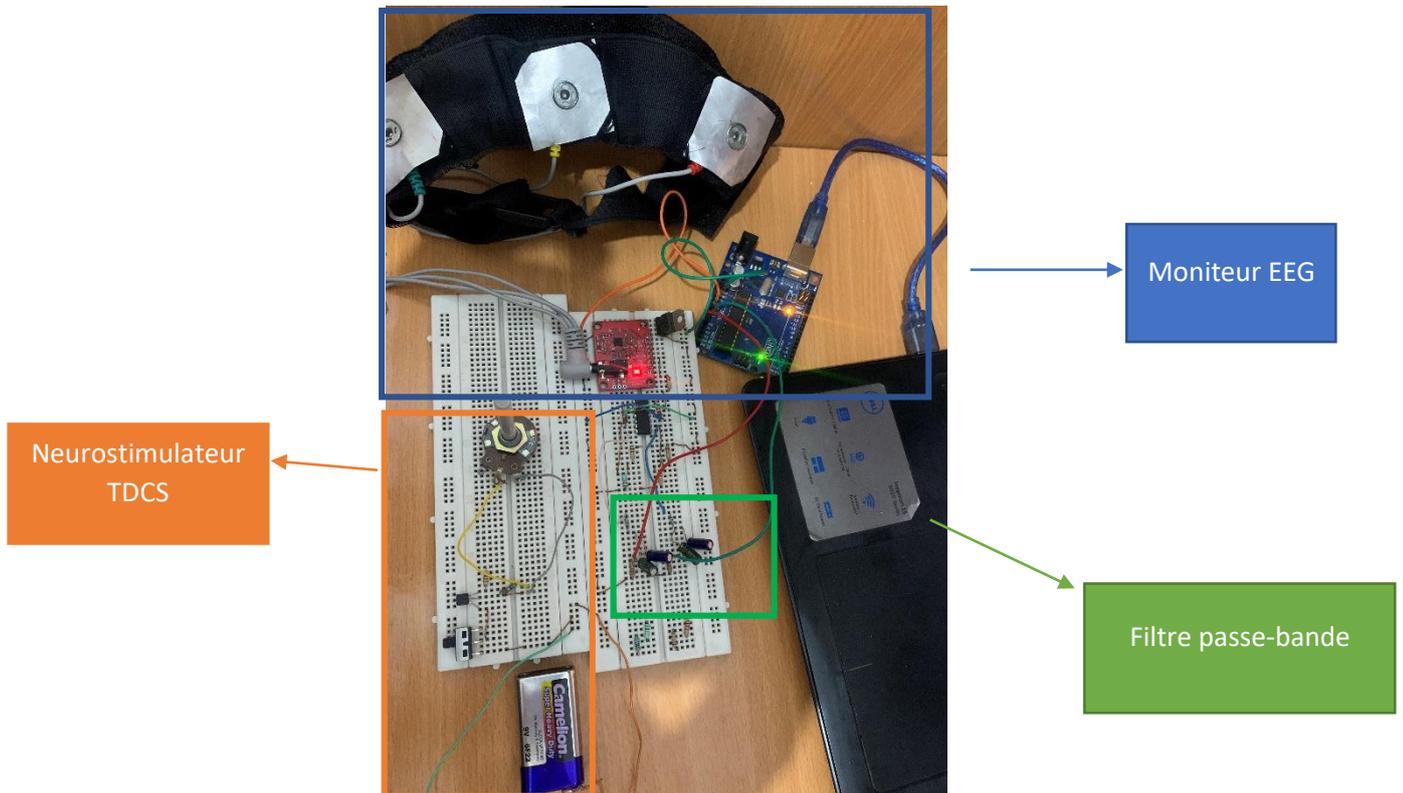


Figure2. 1 : notre circuit réalisé

**Arduino Uno R3 :**

Arduino UNO est un microcontrôleur basé sur l'ATmega328P. Il dispose de 14 pins d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisés comme sorties PWM), 6 entrées analogiques, un résonateur céramique de 16 MHz, une connexion USB, un connecteur d'alimentation, un en-tête ICSP et un bouton de réinitialisation tel que montré à la ( Figure 2.2). Il contient tout ce dont vous avez besoin pour prendre en charge le microcontrôleur ; il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur AC-to-DC ou une batterie pour démarrer. Vous pouvez travailler avec votre UNO sans vous soucier trop de faire quelque chose de mal, dans le pire des cas, vous pouvez remplacer la puce pour quelques dollars et recommencer, alors dans notre système, nous avons utilisé un Arduino [19].

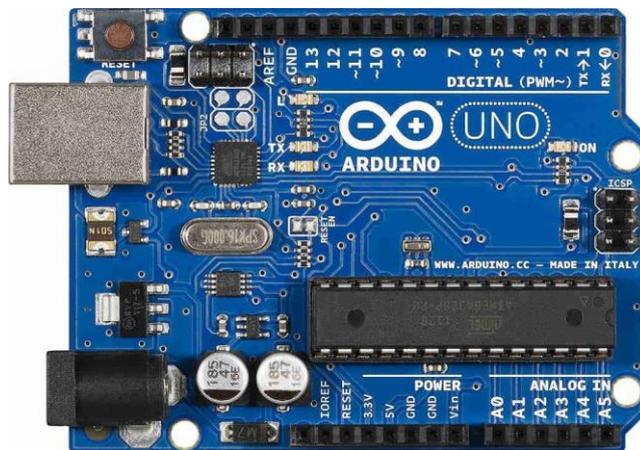


Figure2. 2: Carte Arduino Uno

### 1.1.AD8232 ECG Heart Monitor Module:

Le moniteur de fréquence cardiaque à plomb unique AD8232 est un tableau à faible coût conçu pour mesurer l'activité électrique du cœur et le produire sous forme analogique[20]. Cette activité électrique est communément connue sous le nom d'ECG, comme le montre la (figure 2.3). En raison du niveau élevé de bruit dans les signaux ECG, le moniteur de fréquence cardiaque à plomb unique AD8232 fonctionne comme un amplificateur opérationnel (op amp) pour extraire un signal clair des intervalles PR et QT. Le moniteur de fréquence cardiaque AD8232 est équipé d'un bloc de conditionnement de signal intégré spécialement conçu pour les mesures bio-potentiels telles que l'ECG. Il est conçu pour extraire, amplifier et filtrer de petits signaux bio-potentiels tout en filtrant le bruit provenant de sources telles que le mouvement ou le placement des électrodes à distance. Ce moniteur de fréquence cardiaque brise neuf connexions de l'IC, qui peuvent être facilement soudées à des pins, des fils ou d'autres connecteurs. Ces connexions

comprennent SDN, LO+, LO-, OUTPUT, 3.3V et GND, qui sont cruciales pour le fonctionnement du moniteur avec un Arduino ou tout autre tableau de développement. En outre, le panneau comprend les pin RA (Right Arm), LA (Left Arm) et RL (Right Leg) qui peuvent être utilisés pour attacher et utiliser des capteurs personnalisés. Une lumière d'indicateur LED est également fournie, qui pulsera dans le temps avec un battement du cœur. Afin d'utiliser le moniteur cardiaque, des Pads de capteurs biomédicaux et un câble de capteur sont nécessaires, et ils peuvent être trouvés dans la section Produits recommandés. Dans l'ensemble, le moniteur du rythme cardiaque à plomb unique AD8232 est une solution abordable et pratique pour quiconque cherche à intégrer la surveillance de EEG dans son projet après que nous l'ayons modifié.

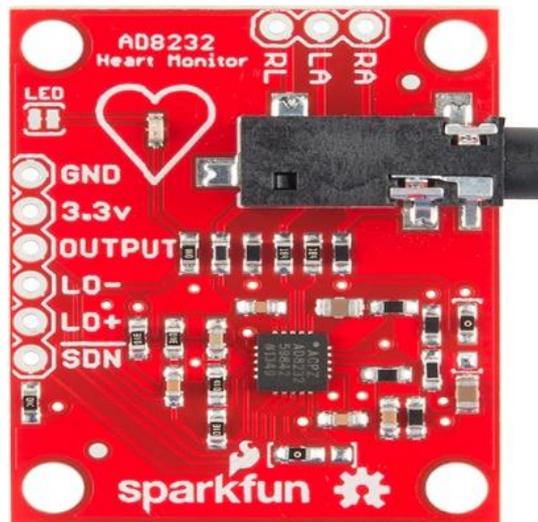


Figure2. 3:AD8232 Le moniteur de fréquence cardiaque

## 1.2. La plaque d'essai :

La plaque d'essai contient un circuit à utiliser avec un Arduino ATMEGA328P UNO R3 Shield. Faciliter l'ajout ou la suppression de composants selon les besoins. Ce panneau convient à la création de prototypes de circuits rapidement et facilement. Il vous permet de connecter votre tableau Arduino à d'autres composants et appareils, ce qui en fait un outil utile pour le prototypage et l'expérimentation. Le panneau est compatible avec tous les microcontrôleurs, offrant un accès à tous les pins et connecteurs nécessaires. Cela facilite la création de circuits et de projets personnalisés sans avoir besoin de câblage ou de soudage. La figure 2.3 nous donne une vue d'ensemble de la plaque d'essai.

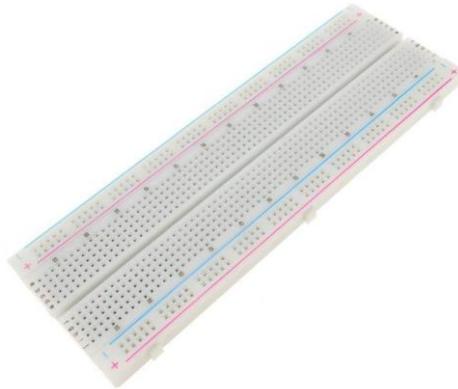


Figure2. 4: la plaque d'essai

### 1.3. Les composants passifs :

Les composants passifs sont des composants électroniques qui n'ont pas besoin d'une source d'énergie externe pour fonctionner. Ils sont utilisés pour contrôler le flux de signaux électriques dans un circuit et peuvent être largement classés en deux types : résistants et condensateurs. Nos composants passifs que nous avons utilisés dans notre appareil sont :

1 seulement 2K2 ohm, 2 seulement 1K2 ohm, 2 de 2K7 ohm, 2 de 20K ohm, 1 de 11K ohm, 1 de 12K ohm, 1 de 15K ohm, 500 ohm / 1/8-wat résistances au film de métal, 2 seulement 1uF condensateur de tantale, et 2 de 47 uF, un amplificateur opérationnel LM324, un régulateur de tension (3.3V). Les figures 2.5-2.6-2.7 nous donnent un aperçu des composants passives.



Figure2. 6: les Résistances 2K2

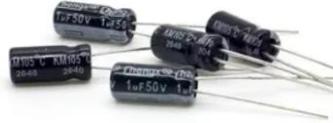


Figure2. 7: Les condensateurs 1uF, 47uF

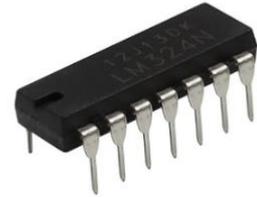


Figure2. 5: AOP LM324

## 2. Moniteur EEG :

Notre travail décrit la réalisation d'un moniteur de forme d'onde EEG en utilisant un Arduino UNO R3 et un moniteur cardiaque AD8232 modifié. Ce dispositif est utilisé pour évaluer l'activité électrique du cerveau à travers un électro-encéphalogramme (EEG) test. Pour créer notre appareil EEG, plusieurs étapes ont dû être suivies, la première étape dont nous avons déjà été touché dans la liste des pièces ci-dessus est que nous avons besoin de 1 seul Arduino Uno R3, 1 seul module de moniteur cardiaque ECG AD8232 modifié, plaque d'essai, 1 seulement 2K2 ohm, 2 seulement 1K2 ohm, 2 de 2K7 ohm, 2 de 20K ohm, 1 de 11K ohm, 1 de 12K ohm, 1 de 15K ohm, 500 ohm / 1/8-wat résistances au film de métal, 2 seulement 1uF condensateur de tantale, et 2 de 47 uF, un amplificateur opérationnel LM324, un régulateur de tension (3.3V), après avoir obtenu les pièces il y a quelques étapes que nous avons faites pour obtenir notre EEG, ces étapes sont :

### 2.1. Le circuit :

Le circuit de la figure 2.8 comprend un module de capteur cardiaque AD8232 modifié, un quad-op-amp LM324, un Arduino Uno R3 et quelques résistances. La forme d'onde de sortie de l'AD8232 tourne autour de 1,5 volts DC.

Lorsque l'œil gauche tourne, la forme d'onde de sortie AD8232 monte vers 3,3 volts. Lorsque la forme d'onde dépasse 2,8 volts, la sortie du comparateur à l'angle gauche change de zéro à 5 volts.

Lorsque l'œil droit tourne, la forme d'onde de sortie AD8232 tombe vers zéro volt. Lorsque la forme d'onde tombe en dessous de 0,2 volts, la sortie du comparateur à l'angle droit change de zéro à 5 volts. Les clignotements normaux n'ont pas d'effet sur la sortie, car ils sont

équivalents à deux clichés simultanés, et il n'est pas possible pour la sortie AD8232 d'aller dans deux directions opposées en même temps.

L'AD8232 est équipé d'un ensemble de pads et de conduits ECG revêtus de gel. Après quelques utilisations, les tampons ont tendance à glisser. Pour remédier à cela, on a fixé quelques coussins en aluminium teinté à un ruban construit à partir d'un scratch (voir figure 2.12 )[21].

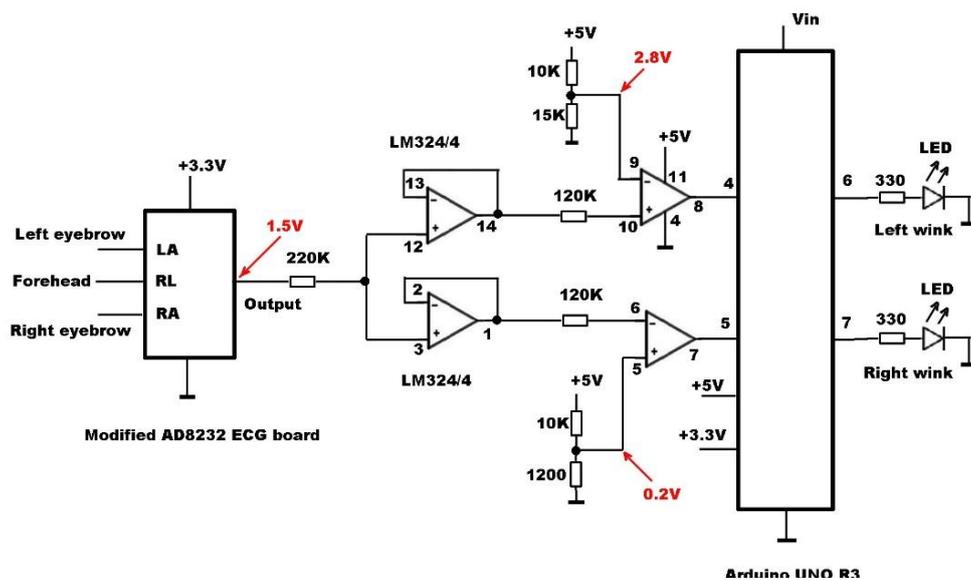


Figure2. 8: Schéma électrique de notre circuit EEG

### 2.1.1. Les modification d'AD8232 :

Le circuit original utilisé comme moniteur cardiaque (figure 2.9) a des conduits ECG connectés à différentes parties du corps, y compris le bras droit, le bras gauche et la jambe droite. Un diagramme de bloc simplifié du moniteur cardiaque d'origine a été produit en comparant les valeurs des composants dans la datasheet dans le site « Spark fun ». L'amplificateur d'instrumentation AD8232 est utilisé pour connecter les deux entrées d'alimentation de 3,3 volts à travers des résistances de 10M. Pour fonctionner correctement, cependant, les deux conducteurs d'entrée doivent être autour du potentiel du milieu du rail, ce qui est obtenu en injectant un petit courant de 10uA du RLD (« right leg drive » Il est conçu pour fournir une référence de tension à un point situé près du corps de la personne, généralement à travers une électrode placée sur la jambe droite), créant efficacement un séparateur de tension qui utilise le corps de l'utilisateur comme l'un des résistances. Le panneau de circuit modifié montré dans la

(figure 2.10) est conçu comme un moniteur EEG et est destiné à détecter les différences de potentiel électrique et doit rester pleinement opérationnel à tout moment. Pour ce faire, les deux entrées de l'amplificateur d'instrumentation doivent être connectées à un potentiel de voie moyenne, tel que  $V_{ref}$ . (1.5 volts). Cela est réalisé en coupant la piste qui relie les deux résistances 10M à l'alimentation à 3,3 volts et en joignant l'extrémité coupée au  $V_{ref}$  en utilisant un petit raccordement de fil. En outre, le lead RLD n'est pas requis pour cette application, et il peut être utilisé pour améliorer le ratio de rejet de mode commun (CMRR) du système en élevant le corps de l'utilisateur au potentiel de référence virtuel (potentiel de référence à mi-chemin). Cela se fait en coupant la piste au pin AD8232 RLD, puis en joignant l'extrémité de coupe au  $V_{ref}$ . La fiche de données AD8232 recommande de relier les pins RLD et RLDF (réponses à la jambe droite) lors de l'utilisation d'un circuit à deux conducteurs, ce qui peut être réalisé en raccourcissant le condensateur qui connecte ces deux pins. La (figure 2.11) nous donne une idée à ce sujet[22].

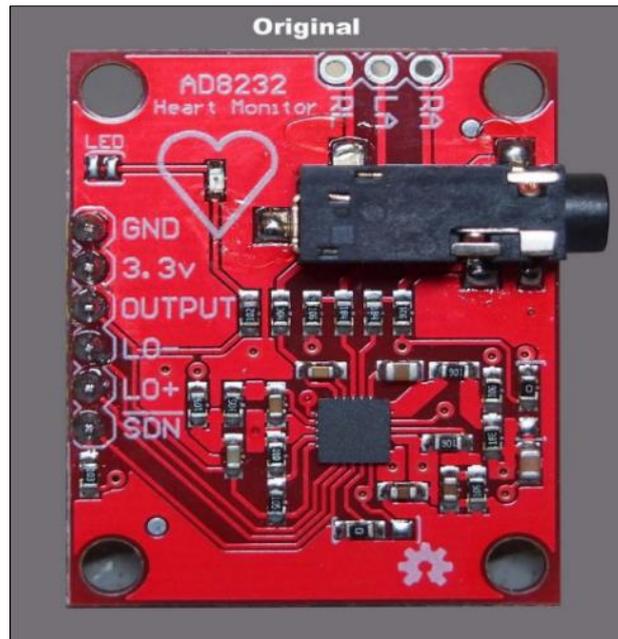


Figure2. 9: le circuit original

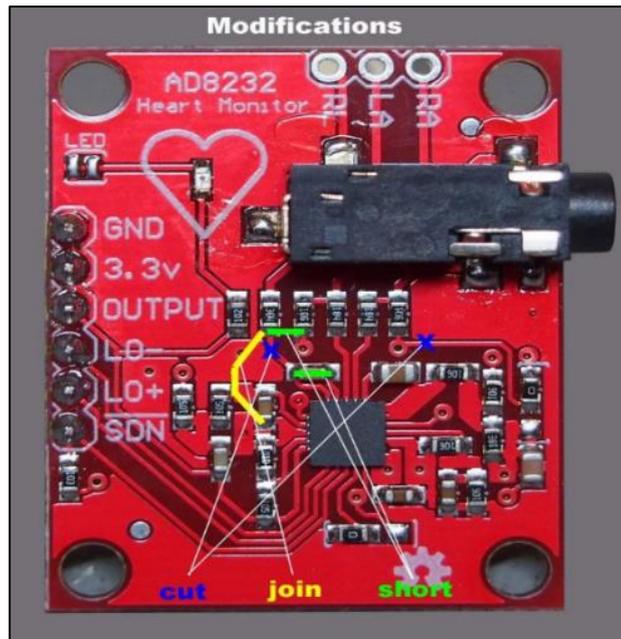


Figure2. 10: le circuit modifié

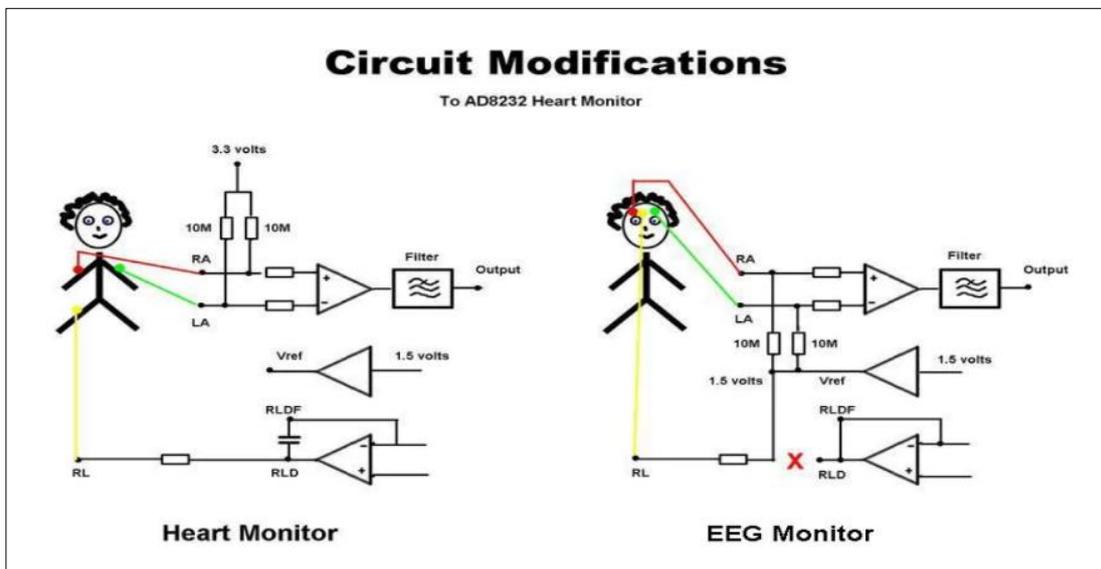


Figure2. 11: les modifications de circuit

### 2.1.2. Les électrodes :

Les électrodes sont fabriquées à partir de plaques minces d'aluminium, et ils sont reliés à la corde par des ongles étroits coupés de la même plaque d'étain. Cela permet aux pads de glisser autour du ruban. Doubler les bords des pads métalliques en utilisant un fichier et légèrement sabler les surfaces de contact. Lier le moniteur cardiaque conduit aux onglets métalliques exposés. Il est crucial que les plaques établissent un bon contact avec la peau. Le gel de contact médical est conseillé, mais nous avons découvert que l'humidificateur des mains aide également. La taille du pad n'est pas cruciale car il est ajustable (figure 2.12) [23].

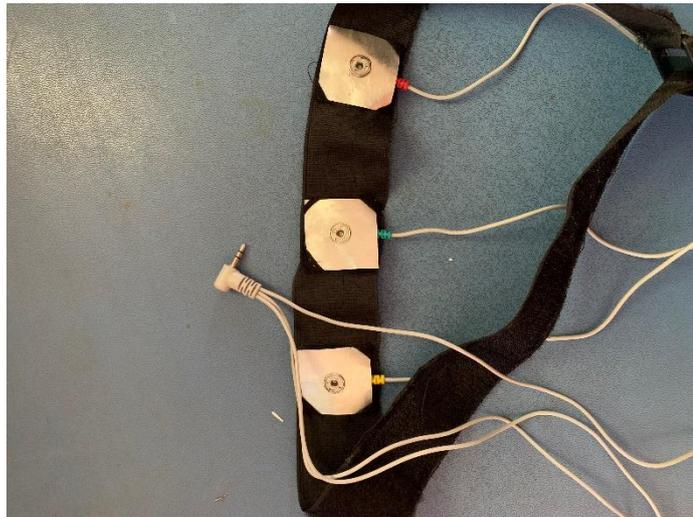


Figure2. 12:les électrodes réalisées

### 2.1.3. Circuit de filtrage :

Le circuit de filtrage passe-bande revêt une importance capitale dans l'analyse précise des ondes alpha perturbées dans le contexte de l'addiction au tabac, à partir des signaux EEG (électroencéphalogrammes). Les ondes alpha, situées dans la plage de fréquences cérébrales allant généralement de 8 à 13 Hz, représentent un état de relaxation et de quiétude. Dans le cadre de l'addiction au tabac, ces ondes peuvent être altérées en raison des effets de la nicotine sur le cerveau. Afin de cibler spécifiquement la fréquence des ondes alpha dans le signal EEG, tout en éliminant les autres fréquences indésirables, le circuit de filtrage passe-bande joue un rôle essentiel. Ce dernier se compose généralement d'un filtre à bandes étroites, qui atténue les fréquences se trouvant en dehors de la plage d'intérêt. On a réalisé deux filtres passe bande (8-13 Hz) pour les deux lobes (droit-gauche), avec une résistance de 20K ohm et un condensateur

de 1 uF pour 8Hz et une résistance de 2K7 ohm avec un condensateur de 47 uF pour 13Hz (figure 2.13).[24]

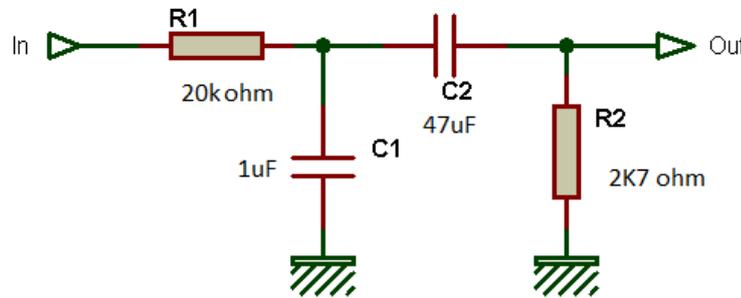


Figure2. 13: Filtre passe bande (8-13 Hz)

### 2.1.3.1. Pourquoi on a choisi l'onde alpha :

L'onde alpha est généralement utilisée dans la recherche sur les problèmes d'EEG chez les fumeurs en raison de son implication dans les états de vigilance et de relaxation. L'onde alpha est une fréquence d'oscillation électrique présente dans le cerveau humain, généralement placée dans la plage de fréquences de 8 à 12 Hz. Lorsqu'une personne est dans un état de relaxation et de tranquillité mentale, l'activité des ondes alpha dans l'EEG est typique. Inversement, les quantités perturbées (augmentées ou diminuées) d'ondes alpha peuvent être liées à une condition de stress, d'anxiété ou d'hyperactivité mentale.

Dans le contexte de la dépendance au tabac, l'examen des ondes alpha peut révéler des anomalies ou des perturbations dans le fonctionnement du cerveau des fumeurs. Une étude précédente a révélé que les fumeurs peuvent avoir des modifications distinctes de l'activité des ondes alpha par rapport aux non-fumeurs [25].

En étudiant les caractéristiques des ondes alpha, telles que leur amplitude et leur latence, il est possible de trouver des différences substantielles entre les fumeurs et les non-fumeurs. Ces différences peuvent représenter des altérations neurophysiologiques liées à la dépendance au tabac.

Il convient de noter que la vague alpha n'est pas le seul paramètre abordé dans l'étude EEG des fumeurs, bien qu'elle soit souvent considérée comme une mesure significative pour analyser les changements neurophysiologiques liés à la dépendance au tabac. D'autres

fréquences d'ondes cérébrales et les paramètres EEG peuvent également être analysés pour obtenir une image plus complète des altérations neurologiques liées à la dépendance au tabac.

### 3. Neurostimulateur (TDCS) :

#### 3.1.Réalisation de circuit :

Les parties que nous avons recueillies dans notre circuit montré dans le diagramme (figure 2.14) de sont les suivantes : Batterie 9V, Transistor (2N3906), Résistances : 470 Ohm ,47 ohm, Résistance variable : 1M $\Omega$ , Électrodes : identiques à celles de notre électrode EEG, Interrupteur

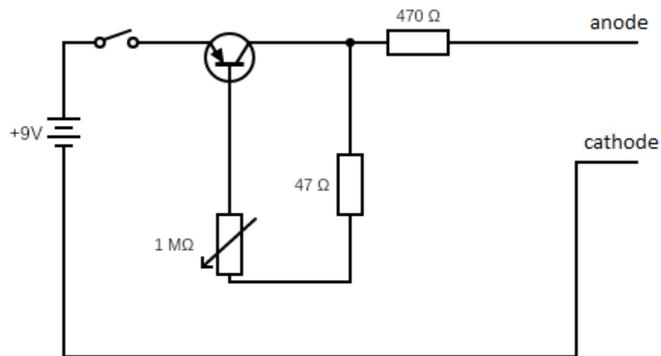


Figure2. 14:Un diagramme de circuit de neurostimulateur (TDCS)

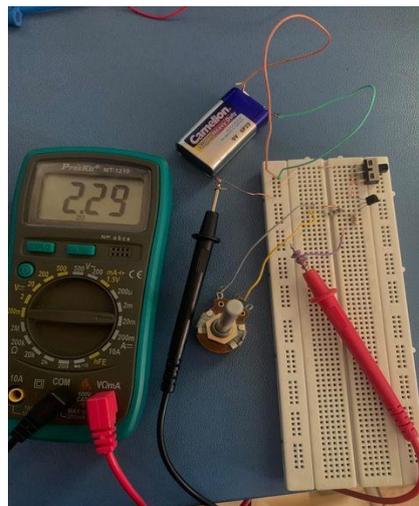


Figure2. 15:Le circuit réalisé

En utilisant une plaque d'essai, tous les composants sont placés le long du diagramme de circuit, la résistance variable nous permet de contrôler le courant appliqué au patient via les électrodes, plus la quantité de résistance appliquée par le résistor moins le courant appliqué [26].

### 3.2.L'emplacement d'électrodes :

L'électrode d'anode est placée au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral droit DLPFC (F4) et l'électrode cathodique est placée au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral gauche DLPFC (F3) (figure 2.16).

Ce montage est suggéré en raison des recherches discutées dans le premier chapitre qui montrent un effet cumulatif significatif de TDCS sur la modification des envies de drogue et de tabagisme.

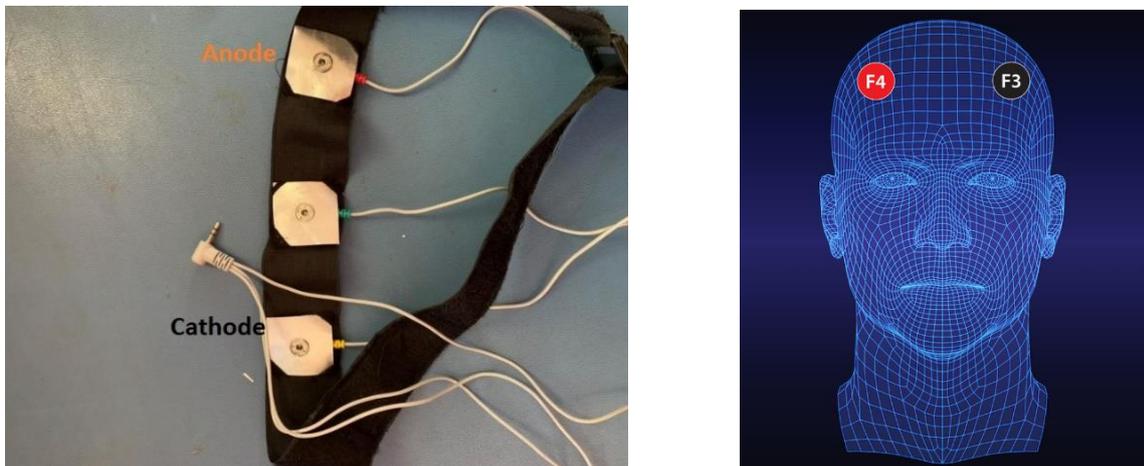


Figure2. 16: Le positionnement d'électrodes

### 3.3.Le danger :

La plupart des études ont montré que la stimulation de courants électriques à faible intensité (<2,5 mA) pendant pas plus de 30 minutes est sûre pour le cerveau et le corps. Certains chercheurs et amateurs ont signalé une légère irritation de la peau, mais si l'appareil est utilisé correctement, dans l'actuel et la plage de temps ci-dessus, il est sans danger [27].

La détection EEG et la neurostimulation sont des outils puissants pour étudier et influencer le cerveau. L'EEG permet d'obtenir des mesures directes de l'activité électrique cérébrale et offre une compréhension précieuse du fonctionnement du cerveau dans diverses conditions. La neurostimulation, quant à elle, permet de moduler l'activité cérébrale et offre des possibilités de traitement pour un large éventail de troubles neurologiques et psychiatriques. Ces deux domaines continuent de faire l'objet de recherches approfondies et promettent de nouvelles découvertes et applications dans le futur. Cependant, il est important de noter que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents de l'EEG et de la neurostimulation, ainsi que pour évaluer leur efficacité à long terme et leurs éventuels effets secondaires.



---

*CHAPITRE 03 :*

*Discussion des résultats et perspectives*

---

## **Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons montrer et analyser les résultats obtenus de notre travail sur le neurostimulateur de dépendance anti-fumeur avec casque EEG pour l'identification des anomalies du signal EEG chez les fumeurs. Les résultats de cette étude sont essentiels pour analyser l'efficacité et la viabilité de notre nouvelle méthode dans la lutte contre la dépendance au tabac [28].

Nous allons commencer par classer des participants à notre étude, y compris des informations sur leur âge, leur sexe et leur histoire de tabagisme. Cela contextualisera les résultats et aidera à comprendre comment ces facteurs peuvent influencer les réponses individuelles à la stimulation neurologique et les anomalies observées dans le signal EEG.

Ensuite, nous allons examiner les résultats de l'étude des données EEG acquises chez les fumeurs participants. Nous présenterons les schémas typiques d'activité cérébrale observés, en mettant l'accent sur les changements par rapport aux modèles rapportés chez les non-fumeurs. Nous étudierons également certains paramètres de signaux EEG, tels que l'amplitude des ondes alpha et la latence de pointe, pour évaluer la différence entre cas pathologique et sain [29].

En résumé, ce chapitre présentera les conclusions de notre enquête. L'étude des données EEG et l'incorporation de cette étude dans la stimulation neurologique nous permettra de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents de la dépendance au tabac et de découvrir le traitement optimal.

### **1. Analyse des résultats :**

L'analyse de pointe du signal EEG est une étape importante dans la compréhension des caractéristiques électrophysiologiques liées à diverses maladies médicales. Dans ce travail, nous nous sommes concentrés sur la localisation et le contraste des pics de signaux EEG entre un ensemble de non-fumeurs sains et un groupe de fumeurs pathologistes de même catégorie d'âge (20-25 ans) et de sexe (male). Les pics du signal EEG servent d'indicateurs importants des processus neurophysiologiques et peuvent révéler des détails essentiels concernant les changements dans l'activité cérébrale. Nous examinons s'il existe des différences significatives entre les groupes d'étude en analysant les propriétés essentielles du pic, telles que l'amplitude et la latence d'un cycle de 14 pics [30]. En comparant les résultats,

nous pourrions déterminer si la consommation de tabac peut avoir un effet sur les pics électro-physiologiques liés aux processus cognitifs et aux états mentaux dans les signaux EEG[31]. Les mécanismes neurologiques derrière l'impact du tabagisme sur la fonction cérébrale peuvent être mieux compris si ces distinctions sont faites. Cette étude vise à jeter de la lumière sur les effets cliniques et neurophysiologiques de la consommation de tabac à travers cette approche.

D'après les résultats montrés dans les figures suivantes, on peut distinguer deux signaux dans l'oscilloscope, le signal bleu qui indique l'activité cérébrale du lobe frontale et le signal jaune évalue les signaux des lobes droit et gauche. La référence est généralement une électrode ou un groupe d'électrodes positionnés dans une certaine zone selon l'étude souhaitée. Il peut aider à éliminer les interférences ou les bruits indésirables qui pourraient affecter les signaux enregistrés, permettant ainsi un examen plus précis des variations spécifiques à chaque lobe.

Et le jaune, ce signal représente l'activité électrique enregistrée à partir du lobe droit du cerveau, en particulier de l'électrode Fp2. Les ondes alpha dans ce signal sont normalement dans la plage de fréquence de 8 à 13 Hz et peuvent être associées à des états de relaxation, de tranquillité ou de méditation. Ou bien le signal représente l'activité électrique enregistrée à partir du lobe gauche du cerveau, en particulier de l'électrode Fp1. Les ondes alpha dans ce signal ont également une fréquence typique de 8 à 13 Hz et peuvent être liées à des états similaires de relaxation ou d'attention.



Figure3. 1: le signal EEG d'onde alpha (sain FP2)

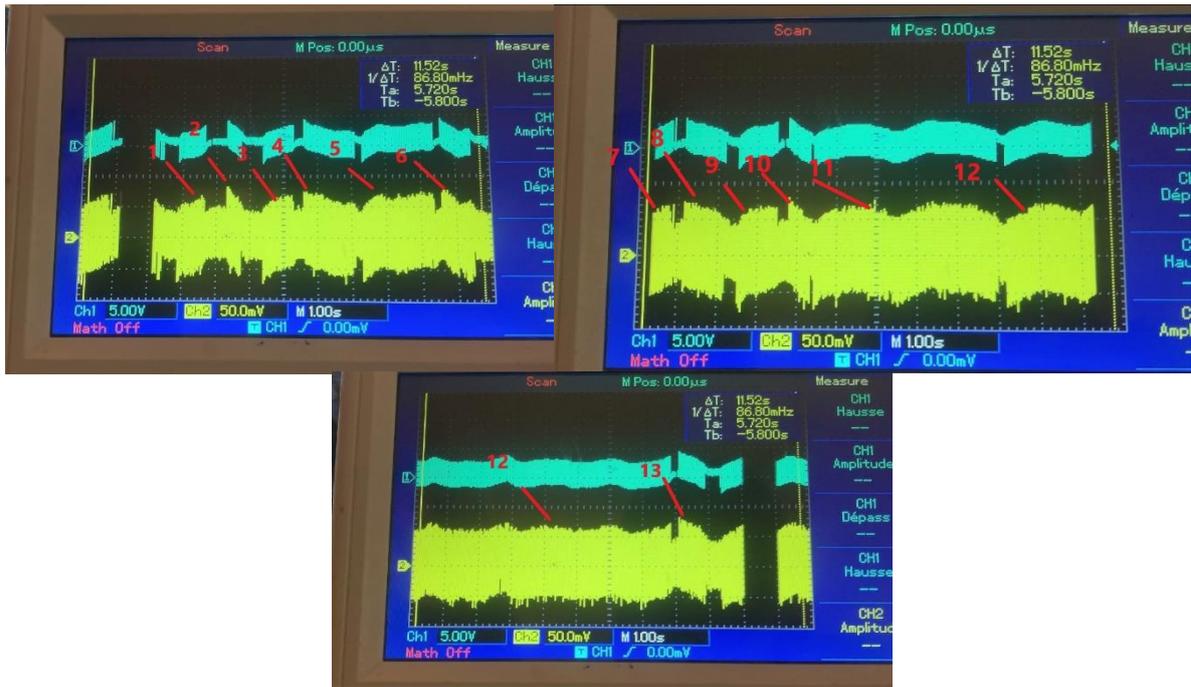


Figure3. 4: le signal EEG d'onde alpha ( fumeur FP2 )



Figure3. 3: le signal EEG d'onde alpha ( sain FP1)



Figure3. 2: le signal EEG d'onde alpha (fumeur FP1)

Pour mieux comprendre, d'après les signaux qu'on a obtenu de notre circuit EEG et spécifiquement les ondes Alpha de lobe droit (Fp2) et lobe gauche (Fp1). Nous avons établi les résultats dans des tableaux (Tableau 3.1- Tableau 3.2).

Tableau 1: Résultats de lobe droit Fp2

Le sujet	Sain (non-fumeur)		Pathologique (fumeur)	
	Amplitude (mV)	Latence (s)	Amplitude (mV)	Latence (s)
Pic 1	110.5	0.2	<u>138</u>	0.5
Pic 2	120	0.3	140	0.8
Pic 3	140	0.1	135	<u>1</u>
Pic 4	110	0.4	150	0.9
Pic 5	115	0.35	<u>158</u>	0.6
Pic 6	130	0.4	149	<u>4.6</u>
Pic 7	120	0.7	145	<u>10.6</u>
Pic 8	120	0.4	140	0.8
Pic 9	130	0.4	145	<u>4.3</u>
Pic 10	125	0.5	140	0.9
Pic 11	120	0.3	120	0.3
Pic 12	115	0.4	<u>150</u>	0.7
Pic 13	138	0.5	145	0.8
Pic 14	137	4.02	155	1

Tableau 2: Résultats de lobe gauche Fp1

Le sujet	Sain (non-fumeur)		Pathologique (fumeur)	
	Amplitude (mV)	Latence (s)	Amplitude (mV)	Latence (s)
Pic 1	120	0.2	105	0.2
Pic 2	115	0.4	130	1.4
Pic 3	125	0.3	125	0.5
Pic 4	116	0.2	128	0.3
Pic 5	120	0.3	110	0.4
Pic 6	115	0.4	140	0.36
Pic 7	145	0.65	110	0.2
Pic 8	120	0.4	130	0.3
Pic 9	140	0.6	110	0.37
Pic 10	130	0.6	120	0.4
Pic 11	140	2.2	130	0.4
Pic 12	125	0.7	156	2.4
Pic 13	138	0.6	132	0.8
Pic 14	140	4.8	140	1.9

## 2. Interprétation des résultats :

Dans notre étude comparative des amplitudes et des latences des signaux EEG alpha-ondes entre le lobe droit et gauche, nous avons observé des résultats intéressants. Nous avons constaté que chez le fumeur, les latences de la longueur d'onde de pointe alpha étaient significativement plus longues dans le lobe droit par rapport au non-fumeur. Cette différence de temps de pic de signal entre le cas sain et pathologique indique une asymétrie dans l'activité des ondes alpha chez les fumeurs. La durée plus élevée qui se varie jusqu'à **10.6 s** dans le lobe droit suggère une activation accrue ou une augmentation de l'activité cérébrale dans cette région chez les fumeurs (figure 30).

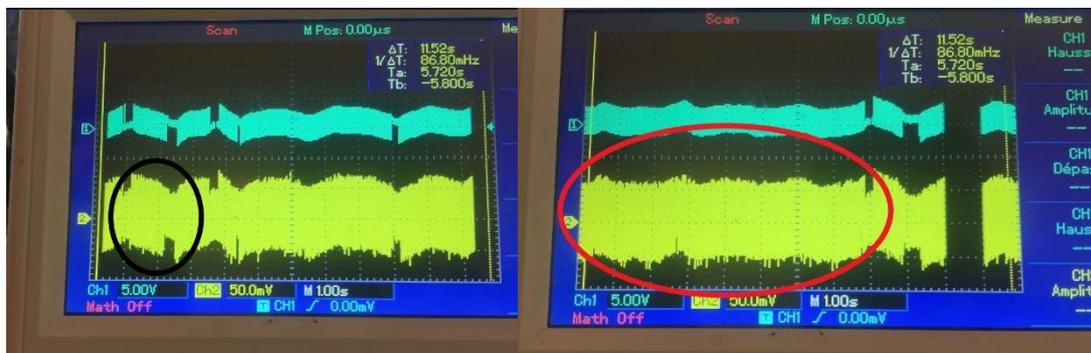


Figure3. 5: cas pathologique fumeur (amplitude-latence élevés)

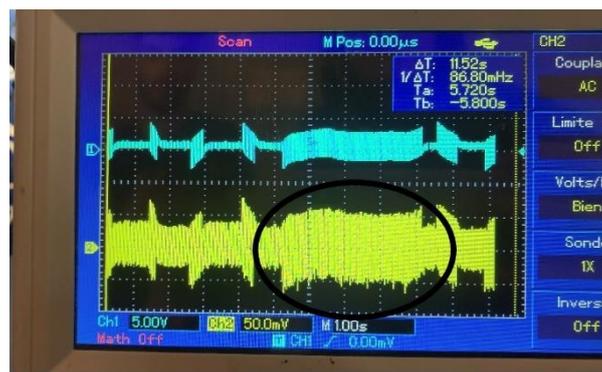


Figure3. 6: cas sain non-fumeur (amplitude et latence normales)

En outre, nous avons également observé des différences d'amplitude (**150-158-138 mV**) entre le lobe droit sain et pathologique, bien que ces différences ne soient pas aussi prononcées que les différences de latence. En comparaison avec le lobe droit d'un fumeur, les amplitudes d'onde de pointe de l'alpha étaient généralement un peu plus élevées dans le lobe droit sain (figure 31). Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte la latéralisation du cerveau lors de la recherche sur les ondes alpha chez les fumeurs. Ils soutiennent que le tabagisme peut avoir un impact différent sur l'activité des ondes alpha dans le Fp2.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les résultats de notre étude selon lesquels les fumeurs avaient des pics d'ondes alpha dans le lobe droit avec des amplitudes et latences plus grandes. Tout d'abord, il est connu que le tabagisme a un impact sur l'équilibre chimique du cerveau, en particulier en augmentant la libération de neurotransmetteurs tels que la dopamine. Cette augmentation de l'activité dopaminergique peut avoir un impact sur l'action électrique et les oscillations cérébrales, en particulier les ondes alpha. Les hémisphères du cerveau diffèrent également structurellement et fonctionnellement les uns des autres. Typiquement, le lobe gauche est plus impliqué dans les activités linguistiques et analytiques, tandis que le lobe droit est plus lié à l'intuition, la créativité et la perception spatiale. Le tabagisme peut provoquer une modification unique de l'activité cérébrale dans le lobe droit, comme on le voit par de plus grandes amplitudes et plus long temps de transmission d'ondes alpha dans le cerveau.

D'un point de vue anatomique, il peut y avoir une corrélation entre la distribution des connexions et des zones cérébrales particulières impliquées dans le contrôle des ondes alpha et les différences d'amplitudes d'onde de pic alpha entre les lobes droit et gauche chez les fumeurs. Le contrôle cognitif, l'attention et la modulation des états mentaux se produisent dans ce domaine. Le lobe frontal des fumeurs peut présenter des anomalies fonctionnelles et structurelles résultant du tabagisme. Le cortex préfrontal peut subir des altérations à la suite du tabagisme chronique, y compris une diminution de l'épaisseur corticale, une altération de l'activité électrique et une réduction des connexions fonctionnelles. Il est probable que les effets négatifs du tabagisme sur le cerveau, en plus des variations hémisphériques qui existent naturellement, causent aux fumeurs des amplitudes d'onde alpha du lobe droit à être plus grande. En raison de l'interaction complexe entre les effets du tabagisme, la neurochimie du cerveau et l'architecture fonctionnelle, cette asymétrie peut

indiquer des changements dans le contrôle des ondes alpha entre les deux hémisphères cérébraux chez les fumeurs.

Notre neurostimulateur TDCS pourrait être appliqué dans cette situation pour contrôler spécifiquement l'activité cérébrale dans le lobe droit ou gauche des fumeurs afin de rééquilibrer les deux côtés. Par exemple, on peut encourager l'activation du lobe gauche et diminuer l'excès d'activité du cerveau droit en appliquant une anode au lobe droit et une cathode au lobe gauche (figure 32). La TDCS peut être en mesure de corriger les variations des amplitudes d'ondes de pointe alpha observées chez les fumeurs en contrôlant sélectivement l'activité cérébrale dans les régions impliquées dans la production d'ondes alpha. Par l'application d'un courant direct d'une intensité qui se varie entre **2 mA** jusqu'à **5 mA** (figure 33). Cette modulation pourrait améliorer les effets du tabagisme en rétablissant un équilibre fonctionnel entre les deux lobes.

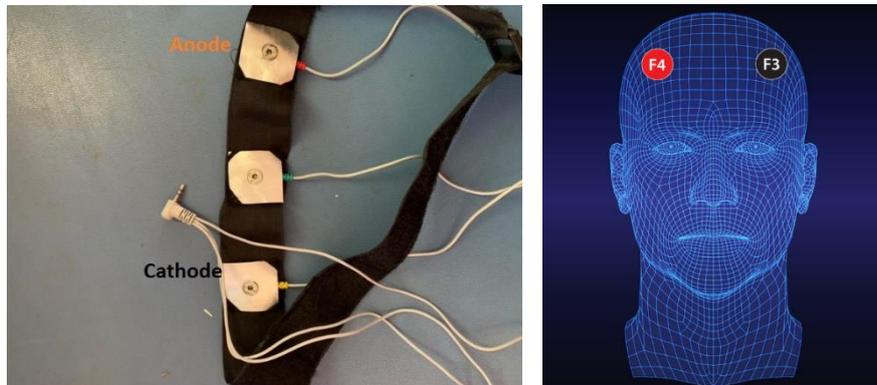


Figure3. 7: les électrodes de TDCS et leur emplacement

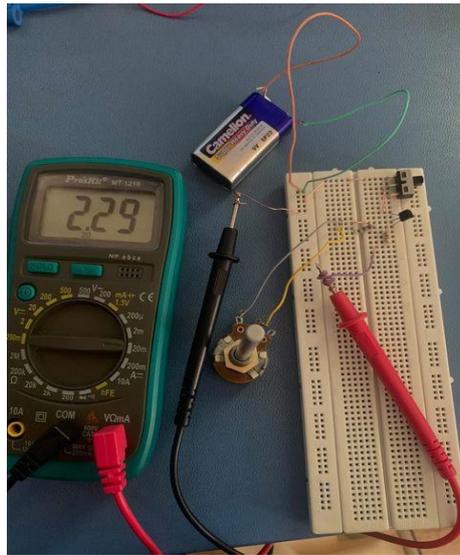


Figure3. 8: le neurostimulateur TDCS (intensité de 2-5 mA)

Tableau 3: l'intensité de courant selon la résistance variable

	Valeur de résistance variable ( ohm)	Intensité de courant (mA)
Cas min (normal)	500 K	2
Cas intermédiaire (moyen)	700 K	3.25
Cas max (sévère)	1M	5

Le tableau suivant montre les variations de l'intensité du courant basée sur une résistance variable dans le cadre d'un neurostimulateur anti-tabac-addiction TDCS. Trois combinaisons de valeurs de courant et de résistance sont prises en considération : 2 mA avec une résistance de 500 Kohm, 5 mA à une résistance de 1 Mohm et 3,25 mA lors d'une résistance de 700 Kohm.

Ces fluctuations de courant et d'intensité de résistance sont importantes dans la conception d'un neurostimulateur TDCS, car elles peuvent influencer l'efficacité et la sécurité du traitement. Des valeurs spécifiques d'intensité et de résistance du courant sont sélectionnées en fonction des besoins de traitement et des caractéristiques uniques du patient. Il est essentiel de tenir

compte de ces éléments pour garantir les meilleurs résultats tout en assurant la sécurité du patient.

La stimulation du courant continu transcrânienne (TDCS) est une thérapie non invasive qui peut être utilisée pour prévenir le tabagisme. Il implique l'administration d'un courant électrique de faible intensité au cuir chevelu, qui modifie l'activité électrique dans des régions du cerveau spécifiées. L'objectif est de moduler l'excitabilité des neurones et de modifier les circuits neuronaux impliqués dans les mécanismes de la dépendance au tabac.

Lorsqu'il est effectué expressément pour combattre le tabagisme, le TDCS est souvent ciblé sur les régions corticales liées au contrôle des impulsions et à la prise de décision, telles que le cortex préfrontal dorso-latéral. En manipulant l'activité de ces régions, on peut potentiellement réduire l'envie de fumer, augmenter le désir d'arrêter et aider à contrôler les comportements liés à la dépendance.

L'efficacité du TDCS dans le traitement de la dépendance au tabac a été explorée dans diverses recherches. Certaines études ont démontré des effets bénéfiques considérables, notamment une réduction des envies de fumer, une diminution de la consommation de cigarettes et une augmentation des taux de réussite pour arrêter. Cependant, il est crucial de comprendre que les résultats peuvent varier d'une personne à l'autre et que TDCS n'est pas un remède miracle. Il est couramment utilisé en combinaison avec d'autres techniques de traitement, telles que la thérapie comportementale et les médicaments.

En 2008, Fregni et al. ont présenté les résultats d'une enquête à double contrôle. Un sondage transversal de 24 toxicomanes. Ils ont reçu trois régimes de stimulation distincts, au hasard, avec une seule session pour chaque protocole : Anode à côté de F3 (électrode de 35 cm<sup>2</sup>), cathode côté F4 (considéré comme une électrode de référence, les électrodes étaient de 100 cm<sup>2</sup> pour restreindre son effet sur l'excitabilité corticale) ; anode côté par F4 et cathode par F3 électrode de référence ; protocole de sham. La force de la stimulation était de 2 mA. (0,57 A/m<sup>2</sup>) pendant 20 minutes. Les auteurs ont également constaté que les deux procédures actives réduisaient considérablement les envies (mesurées par une échelle visuelle analogique) chez les patients testés.

L'efficacité du neurostimulateur TDCS est testée en tenant compte de nombreuses caractéristiques. Ces paramètres sont importants car ils induiront des conséquences physiologiques, notamment :

- La taille et la position des électrodes
- La force de la stimulation (l'intensité du courant (2-5mA))
- Durée de la stimulation
- Nombre de séances par jour
- Nombre total de séances

En résumé, TDCS peut être utilisé comme une technique complémentaire pour contrôler le tabagisme en régulant l'activité cérébrale dans les régions impliquées dans la dépendance. Bien que des études aient démontré des effets bénéfiques, il est essentiel de reconnaître les différences individuelles et de l'utiliser en combinaison avec d'autres thérapies pour maximiser les chances de succès. [16].

### **Etudes des signaux avant et après neurostimulation :**

Le neurostimulateur TDCS peut cibler les zones du cerveau associées aux envies addictives, réduisant ainsi la fréquence des impulsions à consommer des substances nocives. Elle peut influencer la libération de neurotransmetteurs tels que la dopamine, contribuant ainsi à rétablir l'équilibre chimique perturbé chez les personnes dépendantes. En modifiant l'activité des circuits de récompense, la TDCS peut réduire la sensation de plaisir induite par la substance addictive, aussi ce neurostimulateur peut également cibler les régions du cerveau liées à la dépression et à l'anxiété, souvent associées à l'addiction et favorise la plasticité neuronale, permettant ainsi au cerveau de s'adapter plus facilement à des comportements moins addictifs.

Après l'application du neurostimulateur, on peut observer une diminution de l'activité cérébrale liée à l'excitation de cette région du cerveau. Aussi il peut entraîner une diminution de la durée des ondes alpha, ce qui signifie que les ondes alpha deviennent plus courtes en termes de temps.

Cette diminution de la durée des ondes alpha peut indiquer une augmentation de l'activité cérébrale et de la vigilance juste comme la figure 3.9 montre.

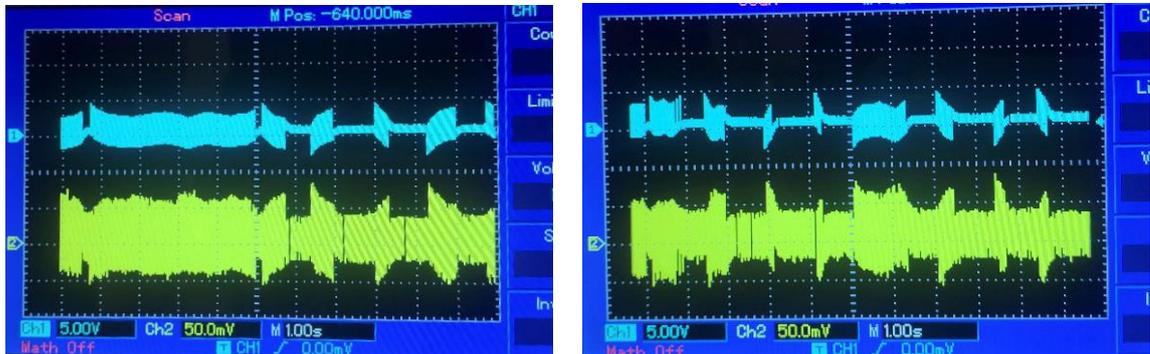


Figure 3. 9: A: avant l'application du neurostimulateur TDCS      B : après l'application du neurostimulateur TDCS

### 3. Résultats supplémentaires :

L'acquisition du signal EEG sur Arduino peut fournir une alternative pratique et économique à l'utilisation d'un oscilloscope traditionnel. L'Arduino est une plateforme de développement électronique polyvalente qui peut être programmée pour collecter et analyser des données provenant de capteurs EEG. Pour obtenir un signal EEG similaire à celui affiché sur un oscilloscope, il est essentiel de choisir un capteur EEG de haute qualité et de le connecter correctement à l'Arduino. Une fois que le signal est capturé par le capteur EEG, il peut être amplifié, filtré et numérisé par l'Arduino (figure 3.10). Les données ainsi obtenues peuvent être traitées et visualisées en utilisant des bibliothèques logicielles appropriées. Bien que l'Arduino puisse ne pas offrir la même résolution et précision qu'un oscilloscope spécialisé, il peut néanmoins fournir des informations utiles sur les caractéristiques générales du signal EEG, telles que l'amplitude, la fréquence et les changements de forme d'onde. Cela rend l'acquisition du signal EEG sur Arduino une option viable pour les applications de base en électroencéphalographie.

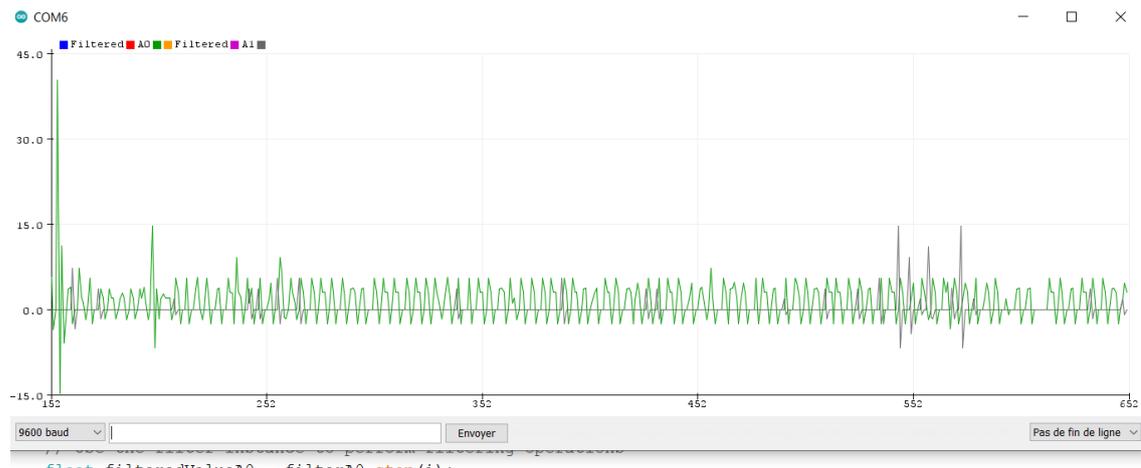


Figure3. 10 : le signal obtenu filtré par l'Arduino

### 3.1. Le code utilisé :

```
int i = 0;

int j = 0;

class FilterBeBp2 {

private:

    float v[5]; // Buffer for previous input and output values

    float a1, a2, b0, b1, b2; // Filter coefficients

public:

    FilterBeBp2() {

        for (int i = 0; i < 5; i++)

            v[i] = 0.0;

        // Calculate filter coefficients for a Butterworth bandpass filter

        float f1 = 7.5; // Lower cutoff frequency (Hz)

        float f2 = 12.5; // Upper cutoff frequency (Hz)

        float fs = 1000.0; // Sample rate (Hz) - adjust as needed

        float omega1 = 2.0 * PI * f1 / fs;

        float omega2 = 2.0 * PI * f2 / fs;
```

```
float denom = 4.0 + 2.0 * sqrt(2.0) * (omega1 + omega2) + omega1 * omega2;

b0 = (omega2 - omega1) / denom;

b1 = 0.0;

b2 = -b0;

a1 = (-8.0 + 2.0 * omega1 * omega2) / denom;

a2 = (4.0 - 2.0 * sqrt(2.0) * (omega1 + omega2) + omega1 * omega2) / denom;

}

float step(float x) {

    // Apply the bandpass filter

    float y = b0 * x + b1 * v[0] + b2 * v[1] - a1 * v[3] - a2 * v[4];

    // Shift values in the buffer

    v[4] = v[3];

    v[3] = v[2];

    v[2] = v[1];

    v[1] = v[0];

    v[0] = x;

    return y;

}

};

void setup() {

    Serial.begin(9600); // Set the baud rate to 9600

}

void loop() {

    i = analogRead(A0); // Read input from A0
```

```
j = analogRead(A1); // Read input from A1

// Create an instance of the FilterBeBp2 class

static FilterBeBp2 filterA0; // Static to retain filter state between loop iterations

static FilterBeBp2 filterA1;

// Use the filter instance to perform filtering operations

float filteredValueA0 = filterA0.step(i);

float filteredValueA1 = filterA1.step(j);

// Print filtered values to the serial monitor

Serial.print("Filtered A0: ");

Serial.print(filteredValueA0);

Serial.print(", Filtered A1: ");

Serial.println(filteredValueA1);

delay(100); // Add a delay to control the rate of analogRead

}
```

#### **4. Futures perspectives :**

Le projet de développement de neurostimulateur pour lutter contre la dépendance au tabac offre un certain nombre de directions prometteuses à l'avenir. L'une des premières possibilités serait d'améliorer le circuit du neurostimulateur en incluant un filtre d'annulation du bruit pour obtenir des résultats de signaux EEG plus précis. Cela permettrait une meilleure précision des mesures et moins d'interférences indésirables, ce qui permettrait d'évaluer plus précisément l'activité mentale des fumeurs.

En outre, l'utilisation de techniques de traitement des signaux EEG serait nécessaire pour extraire un plus grand nombre de paramètres des données EEG. Ces méthodes pourraient utiliser des méthodes telles que la transformation de Fourier [32], l'analyse

de suppression[33], la détection d'événements, la cohérence spectrale[34], etc. Ces méthodes permettraient de caractériser plus précisément les modèles d'activité cérébrale liés à la dépendance, fournissant des informations plus détaillées sur les mécanismes sous-jacents.

Un autre angle important serait la création d'une base de données EEG locale parmi les fumeurs. Il serait possible de créer une ressource inestimable pour la recherche sur la dépendance en recueillant une collection de données contenant des enregistrements EEG de fumeurs dans diverses conditions. Pour mieux comprendre les schémas d'activité cérébrale liés à la dépendance au tabac, cette base de données pourrait être utilisée pour créer des modèles de classification, par exemple, en utilisant le module SVM (Support Vector Machine).

Il serait également nécessaire d'optimiser les électrodes d'enregistrement EEG et le boîtier afin d'augmenter le confort et l'ergonomie de l'appareil. Cela pourrait impliquer de nouveaux développements tels que des électrodes plus flexibles et non perceptibles, des conceptions de port ergonomiques et des moyens de réduire les artefacts de mouvement liés aux mouvements du sujet.

Une autre approche intéressante serait d'incorporer plus d'électrodes afin de recueillir plus de données sur l'activité cérébrale. L'ajout de plus d'électrodes permettrait de capturer des signaux provenant de différentes régions du cerveau, fournissant une compréhension plus approfondie et précise de l'activité neuronale liée à la dépendance.

Enfin, il serait également possible d'étendre l'utilisation des neurostimulants pour traiter d'autres types de dépendance, tels que l'alcoolisme et la toxicomanie. Le régime de stimulation devrait être ajusté, et des données spécifiques à chaque forme de dépendance devraient être collectées, mais cela pourrait ouvrir de nouvelles voies pour la recherche et le traitement pour traiter ces problèmes de santé publique.

Dans l'ensemble, ces perspectives fournissent au neurostimulateur des voies de développement passionnantes pour la lutte contre la dépendance. Ce projet pourrait considérablement améliorer la compréhension en combinant les progrès technologiques, l'analyse avancée des signaux EEG, la collecte de données étendue et l'adaptation à d'autres dépendances.

---

*Conclusion*

---

## **Conclusion :**

En conclusion, cet essai a examiné l'utilisation d'un neurostimulant dans le traitement de la dépendance, en mettant l'accent particulièrement sur l'addiction aux opiacés. Les résultats ont montré des différences significatives dans les amplitudes et la latence des images alpha entre les fumeurs et les non-fumeurs, ainsi qu'entre les lobes droit et gauche. Ces découvertes ouvrent des possibilités passionnantes pour la création de nouvelles approches au traitement de la dépendance.

L'utilisation d'un neurostimulateur comme méthode de traitement de la dépendance est une perspective clé. Il est possible de moduler l'activité neuronale et de réduire les envies et les symptômes d'abstinence en appliquant une stimulation ciblée aux régions du cerveau associé à la dépendance. Cette approche non invasive a un potentiel important pour aider les gens à surmonter leur dépendance au tabac et à d'autres substances addictives. En outre, en optimisant le neurostimulateur et en utilisant des techniques de traitement de données EEG de pointe, plus de paramètres et d'informations sur la dépendance peuvent être extraits. Ces données supplémentaires amélioreront notre compréhension des mécanismes neurologiques sous-jacents à la dépendance et nous aideront à adapter plus précisément et spécifiquement les techniques de stimulation.

Afin de perfectionner les protocoles de traitement, il sera essentiel de créer une base de données EEG locale de patients dépendants. Pour mieux comprendre les profils d'activité cérébrale de ceux qui sont dépendants et pour identifier des modèles prédictifs de la réponse au traitement, des données EEG spécifiques sur la dépendance sont collectées. Cela permet d'évaluer l'efficacité du neurostimulateur dans le traitement de diverses dépendances, y compris l'alcoolisme et la dépendance aux drogues. Il sera crucial d'améliorer l'ergonomie et la conception de l'habitacle et des électrodes du neurostimulateur afin de maintenir une amélioration. Un niveau idéal de confort et de facilité d'utilisation favorisera l'adhésion du patient et facilitera la mise en œuvre de traitements à long terme.

Enfin, notre travail serait bénéfique pour élargir l'utilisation des neurostimulants en adaptant les protocoles de stimulation aux caractéristiques uniques de chaque type de dépendance. Cela permettra aux chercheurs d'examiner l'efficacité de la stimulation cérébrale dans le traitement global des dépendances, ouvrant de nouvelles voies pour la recherche sur les problèmes de santé mentale et les efforts visant à combattre la dépendance. Les points de vue discutés offrent des

voies passionnantes pour le progrès technologique, une compréhension globale de la dépendance et l'amélioration des résultats thérapeutiques.

## **Références :**

- [1] : C. Lucet, J.P. Olié, Conduites addictives : faits cliniques, Bull Acad Natl Med (2020) 204, 551—560.
- [2] : Annika Rosenthal, Michael E. Levin, Eric L. Garland , Nina Romanczuk-Seiferth, Mindfulness in Treatment Approaches for Addiction - Underlying Mechanisms and Future Directions, Current Addiction Reports (2021) 8:282–297.
- [3] : Philippe Binder, Intervenir sur les addictions en médecine générale première partie, (2017);129:24-31.
- [4] : Xavier Laqueille, Sami Richa, Le positionnement thérapeutique en addictologie, Laennec (2019), 30-40.
- [5] : Drug, Brain, and Behavior : The science of addiction. National Institute on Drug Abuse ; National Institutes of Health ; U.S. Department of Health and Human Services, June 2020 ;(8).
- [6] : : C. Lucet, J.P. Olié, Conduites addictives : faits cliniques, Bull Acad Natl Med (2020) 204, 551—560.4.
- [7] : : C. Lucet, J.P. Olié, Conduites addictives : faits cliniques, Bull Acad Natl Med (2020) 204, 551—560.4.
- [8] : Arrêté du 12 juillet 2017 portant modification des exonérations à la réglementation des substances vénéneuses. JORF no 0165 du 16 juillet 2017, texte no 5, C. Lucet a, J.P. Olié b, Conduites addictives : faits cliniques, Bull Acad Natl Med (2020) ; (551—560 ;4,5).
- [9] : Reynaud M. Traité d'addictologie. 2e Édition Paris : Lavoisier ; 2016, C. Lucet a, J.P. Olié b, Conduites addictives : faits cliniques,; Bull Acad Natl Med (2020) ; (551—560 ;5)
- [10] : U.S. Department of Health & Human Services, Facing addiction America, The Surgeon General's Report on Alcohol, Drugs, and Health, 2016, (66).
- [11] : Drug, Brain, and Behavior : The science of addiction. National Institute on Drug Abuse ; National Institutes of Health ; U.S. Department of Health and Human Services, June 2020 ; (14-15).
- [12] : Drug, Brain, and Behavior : The science of addiction. National Institute on Drug Abuse ; National Institutes of Health ; U.S. Department of Health and Human Services, June 2020 ; (16).
- [13] : Philippe Binder, Département médecine générale, Université de Poitiers, exercer 2017 ;129:(24-31 ;5).
- [14] : Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. Brain Research Reviews, 29(2-3), 169-195
- [15] : Falkenstein, M., & Hohnsbein, J. Event-related brain potential measures of cognitive control in smokers. Psychopharmacology, (2007). 194(4), 541-549.
- [16] : HEIT Damien, Stimulation transcrânienne directe à courant continu chez les patients souffrant d'un trouble obsessionnel compulsif pharmaco résistant ; 08 juillet 2013 ;21-29
- [17] : Zouaoui, I. (2023). Étude des rythmes cérébraux dans la régulation émotionnelle à l'aide d'un électroencéphalogramme quantitatif.
- [18] : Bonfiglio, N. S., Renati, R., Di Lucia, K., Rollo, D., & Penna, M. P. (2021, June). The use of cognitive training, combined with tDCS, for craving reduction and inhibitory control improvement in cocaine dependence: A case study. In *2021 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)* (pp. 1-6). IEEE.
- [19] : Irfan, G., & Zubov, D. (2021). EEG-based brain-computer interface: connecting Sichiray brainwave sensor kit and Arduino Uno with HC-05 Bluetooth module. In *Computer Intelligent Systems and Networks, 14th international conference, Kryvyi Rih, 23–25 March 2021, proceedings* (pp. 21-28).

- [20] : Mendes Junior, J. J. A., Campos, D. P., Biassio, L. C. D. A. V. D., Passos, P. C., Júnior, P. B., Lazzaretti, A. E., & Krueger, E. (2023). AD8232 to Biopotentials Sensors: Open Source Project and Benchmark. *Electronics*, 12(4), 833.
- [21] : BENRETEM, Z. (2021). Exploitation des séries chronologiques pour l'étude des données évolutives.
- [22] : Prasad, A. S., & Kavanashree, N. (2019, July). ECG monitoring system using AD8232 sensor. In *2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 976-980). IEEE.
- [23] : Sazgar, M., Young, M. G., Sazgar, M., & Young, M. G. (2019). Overview of EEG, electrode placement, and montages. *Absolute Epilepsy and EEG Rotation Review: Essentials for Trainees*, 117-125.
- [24] : Berdaa, S. (2019). *Classification des signaux EEG pour la détection de facultés affaiblies du à la consommation d'alcool et de drogues* (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
- [25] : Izard, C., Grob, R., & Rémond, A. (1979). Recherche sur les effets électrophysiologiques de la nicotine et sur leur interprétation en termes d'éveil et de sédation. *Revue d'Electroencéphalographie et de Neurophysiologie Clinique*, 9(4), 348-365.
- [26] : Colombo, B., Bartesaghi, N., Simonelli, L., & Antonietti, A. (2015). The combined effects of neurostimulation and priming on creative thinking. A preliminary tDCS study on dorsolateral prefrontal cortex. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 403.
- [27] : Thijs, D., & Van de Kelft, E. (2023). Percutaneously Placed Gasserian Neurostimulation Electrode Migration Into the Quadrigeminal Cistern: Pathophysiological Hypothesis and Report of Successful Repositioning. *Neuromodulation*.
- [28] : AMARI, A. (2021). Interface Cerveau-Ordinateur.
- [29] : Muhammad, G., Hossain, M. S., & Kumar, N. (2020). EEG-based pathology detection for home health monitoring. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39(2), 603-610.
- [30] : laid Wassim, C., & BENTOUATI, S. (2022). Traitement et classification des signaux d'un électroencéphalogramme (EEG).
- [31] : Appriou, A. (2020). Évaluation des états mentaux liés à l'apprentissage à partir de signaux cérébraux et physiologiques.
- [32] : Anuragi, A., Sisodia, D. S., & Pachori, R. B. (2022). EEG-based cross-subject emotion recognition using Fourier-Bessel series expansion based empirical wavelet transform and NCA feature selection method. *Information Sciences*, 610, 508-524.
- [33] : Shortal, B. P., Hickman, L. B., Mak-McCully, R. A., Wang, W., Brennan, C., Ung, H., ... & Proekt, A. (2019). Duration of EEG suppression does not predict recovery time or degree of cognitive impairment after general anaesthesia in human volunteers. *British journal of anaesthesia*, 123(2), 206-218.
- [34] : Unde, S. A., & Shriram, R. (2014, April). Coherence analysis of EEG signal using power spectral density. In *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies* (pp. 871-874). IEEE.